

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZNTE KUANTUM NOKTA KATKILI CAMLARIN GELİŞTİRİLMESİ VE
KUANTUM KISITLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

İPEK TUNÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MİRAY ÇELİKBİLEK ERSUNDU**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZNTE KUANTUM NOKTA KATKILI CAMLARIN GELİŞTİRİLMESİ VE
KUANTUM KISITLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

İpek TUNÇ tarafından hazırlanan tez çalışması 08.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Miray ÇELİKBİLEK ERSUNDU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Miray ÇELİKBİLEK ERSUNDU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Süheyla AYDIN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Afife Binnaz YORUÇ HAZAR
Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2016-07-02-YL06 numaralı YÜLAP projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, çalışkanlığına hayranlık duyduğum ve örnek aldığım, akademik hayatıma hızlı bir başlangıç yapmamı sağlayan, karşılaştığım zorluklarda yanımda olup güçlü olmamı sağladığı için minnettar olduğum ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum çok sevgili ve değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Miray ÇELİKBİLEK ERSUNDU'ya,

Lisans eğitimim sırasında öğrencisi olma şansına sahip olduğum, akademik kariyeri seçmemde önemli etkisi olan, her zaman daha iyisini yapmam için beni yönlendiren çok sevgili ve değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ali Erçin ERSUNDU'ya, tanıdığım ilk günden beri desteğini benden esirgemeyen, ilgi, tecrübe ve hoşgörüsünü içtenlikle paylaşan, akademik hayattaki duruşunu örnek aldığım çok değerli hocam Prof. Dr. Süheyla AYDIN'a, lisans öğrenimim boyunca yetişmemde büyük emekleri olan Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

Birlikte geçirdiğimiz kısa sürede çok şey paylaşma fırsatı bulduğum, tez sürecimde akademik ve manevi olarak bana sağladığı desteği unutamayacağım, ilk çalışma arkadaşım Araş. Gör. Yük. Müh. İpek ERDEM'e, yüksek lisans çalışmalarım sırasında aynı laboratuvarı paylaştığım, her gün yeni bir konuda çözüm arayıp birlikte öğrenerek keyifli iki sene geçirdiğim Orhan KIBRISLI, Nuşik GEDİKOĞLU, Berkay GÜVEN, Eren DOĞAN ve Cam Araştırma Grubu'na,

Kardeş olmak için aynı ailede doğmanın gerekli olmadığını kanıtlayan, birlikte geçirdiğimiz on bir senenin tamamında olduğu gibi tez sürecimde de hep yanımda olan ve desteğini esirgemeyen, sahip olduğum için hayatım boyunca kendimi son derece şanslı hissedeceğim dostlarım Sena KOÇ ve Baran İŞYAPAN'a,

Sonsuz sevgi ve fedakarlıkları ile bugünlere gelmemi sağlayan en büyük destekçilerim, parçası olmaktan gurur duyduğum, hayattaki ilk kahramanlarım olan sevgili çekirdek aileme,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs, 2017

İpek TUNÇ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Orijinal Katkı.....	3
BÖLÜM 2	
TEORİK BİLGİ.....	5
2.1 Cam Yapısı.....	5
2.2 Cam Nanokompozitler.....	10
2.3 Kuantum Nokta Katkılı Camlar.....	12
BÖLÜM 3	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
3.1 Numunelerin Sentezlenmesi.....	21
3.1.1 SiO ₂ -Na ₂ O-CaO-Al ₂ O ₃ Sistemine Ait Numunelerin Hazırlanması.....	22
3.1.2 TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O Sistemine Ait Numunelerin Hazırlanması.....	23
3.2 Numunelerin Yüzeylerinin Hazırlanması.....	25
3.3 Numunelerin Optik İncelenmesi.....	25
3.4 Numunelerin Isıl İncelenmesi.....	27
3.4.1 SiO ₂ -Na ₂ O-CaO-Al ₂ O ₃ Sistemine Ait Numunelerin Isıl İncelenmesi.....	27

3.4.2	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O Sistemine Ait Numunelerin Isıl İncelenmesi.....	28	
3.5	Numunelerin Faz ve Mikroyapı İncelemesi	28	
BÖLÜM 4			
DENEYSEL SONUÇLAR			30
4.1	SiO ₂ -Na ₂ O-CaO-Al ₂ O ₃ Sistemi	30	
4.1.1	SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası Numunesi	30	
4.1.2	SNCA-0,5ZnTe-24h Numunesi	33	
4.1.3	SNCA-0,5ZnTe-48h Numunesi	37	
4.1.4	SNCA-0,5ZnTe-60h Numunesi	40	
4.1.5	SNCA-0,5ZnTe-72h Numunesi	43	
4.1.6	SNCA-0,5ZnTe-120h Numunesi	47	
4.2	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O Sistemi	51	
4.2.1	TWN-katkısız Numunesi	51	
4.2.2	TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası Numunesi	53	
4.2.3	TWN-0,5ZnTe-24h Numunesi	57	
4.2.4	TWN-0,5ZnTe-48h Numunesi	61	
4.2.5	TWN-1ZnTe-döküm sonrası Numunesi	64	
4.2.6	TWN-1ZnTe-24h Numunesi	68	
BÖLÜM 5			
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ			70
5.1	SiO ₂ -Na ₂ O-CaO-Al ₂ O ₃ Sistemine Ait Sonuçların Değerlendirilmesi	70	
5.2	TeO ₂ -WO ₃ -Na ₂ O Sistemine Ait Sonuçların Değerlendirilmesi	74	
BÖLÜM 6			
SONUÇ VE ÖNERİLER.....			79
KAYNAKLAR			82
ÖZGEÇMİŞ			88

SİMGE LİSTESİ

z	Katyon valansı
r	İyonik yarıçap
F	İyonik alan kuvveti
a_B	Bohr uyarım yarıçapı
λ	Foton dalga boyu
h	Plank sabiti
c	Işık hızı
R	Tane boyutu
α	Absorpsiyon katsayısı
A	Soğurma
d	Kalınlık
B	Bant kuyruk sabiti
ω	Açısal frekans
E_{opt}	Optik bant aralığı enerjisi
E_{conf}	Kısıtlanmış durumdaki bant aralığı enerjisi
E_g	Bulk yarı iletken bant aralığı enerjisi
\hbar	İndirgenmiş Plank sabiti
μ	Elektron-boşluk indirgenmiş etkin kütlesi
e	Elektron yükü
ϵ	Dielektrik sabiti
T_g	Cam geçiş sıcaklığı
T_c	Ekzotermik reaksiyon onset sıcaklığı
T_p	Ekzotermik reaksiyon pik sıcaklığı

KISALTMA LİSTESİ

DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
DTA	Diferansiyel termal analiz
HRSEM	Yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu
UV-Vis	Mor ötesi ve görünür bölge
XRD	X-ışını kırınım difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 a) Kristalin, b) amorf yapının iki boyutlu şematik gösterimi.....	5
Şekil 2. 2 Sıcaklık – hacim eğrisi	6
Şekil 2. 3 Soda camındaki atomik dizilim	8
Şekil 2. 4 Farklı cam tiplerine ait viskozite sıcaklık eğrileri.....	9
Şekil 2. 5 Lycurgus kadehi.....	11
Şekil 2. 6 Farklı boyutlardaki yarı iletken kristallerin bant yapılarını oluşturan enerji seviyeleri a) 3-boyutlu yapı, b) 2-boyutlu yapı, c) 1-boyutlu yapı, d) 0-boyutlu yapı	13
Şekil 2. 7 Bulk yarı iletkenlerde ve kuantum noktalarda görülen bant yapısı.....	16
Şekil 3. 1 SNCA numuneler için ergitme düzeneği	22
Şekil 3. 2 TWN numuneler için ergitme düzeneği.....	24
Şekil 3. 3 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesi yüzey hazırlama işlemlerinden a) önce b) sonra, TWN-katkısız numunesi yüzey hazırlama işlemlerinden c) önce d) sonra	25
Şekil 3. 4 PG T80+ UV-Vis Spektrofotometre cihazı	25
Şekil 3. 5 Perkin Elmer™ Diamond TG/DTA cihazı.....	27
Şekil 3. 6 Netzsch 204 F1 DSC cihazı	28
Şekil 3. 7 TESCAN MAIA3 XMU cihazı.....	29
Şekil 4. 1 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin makro fotoğrafı.....	30
Şekil 4. 2 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait geçirgenlik analizi.....	31
Şekil 4. 3 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait soğurma analizi	31
Şekil 4. 4 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait Tauc eğrisi	32
Şekil 4. 5 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait DTA termogramı	33
Şekil 4. 6 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesinin makro fotoğrafı.....	33
Şekil 4. 7 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait geçirgenlik analizi	34
Şekil 4. 8 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait soğurma analizi.....	34
Şekil 4. 9 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait Tauc eğrisi.....	35
Şekil 4. 10 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait DTA termogramı	36
Şekil 4. 11 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri.....	36
Şekil 4. 12 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesinin makro fotoğrafı.....	37
Şekil 4. 13 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait geçirgenlik analizi	37
Şekil 4. 14 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait soğurma analizi.....	38
Şekil 4. 15 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait Tauc eğrisi.....	38
Şekil 4. 16 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait DTA termogramı	39

Şekil 4. 17	SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait SEM görüntüsü	39
Şekil 4. 18	SNCA-0,5ZnTe-60h numunesinin makro fotoğrafı.....	40
Şekil 4. 19	SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait geçirgenlik analizi	40
Şekil 4. 20	SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait soğurma analizi.....	41
Şekil 4. 21	SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait Tauc eğrisi.....	41
Şekil 4. 22	SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait DTA termogramı	42
Şekil 4. 23	SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait SEM görüntüleri.....	43
Şekil 4. 24	SNCA-0,5ZnTe-72h numunesinin makro fotoğrafı.....	43
Şekil 4. 25	SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait geçirgenlik analizi	44
Şekil 4. 26	SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait soğurma analizi.....	44
Şekil 4. 27	SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait Tauc eğrisi.....	45
Şekil 4. 28	SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait DTA termogramı	46
Şekil 4. 29	SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait SEM görüntüleri a) 100kx, b) 200kx ..	46
Şekil 4. 30	SNCA-0,5ZnTe-120h numunesinin makro fotoğrafı.....	47
Şekil 4. 31	SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait geçirgenlik analizi	47
Şekil 4. 32	SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait soğurma analizi.....	48
Şekil 4. 33	SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait Tauc eğrisi.....	48
Şekil 4. 34	SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait DTA termogramı	49
Şekil 4. 35	SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait XRD analiz sonucu	50
Şekil 4. 36	SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait SEM görüntüleri a) 100 kx, b) 100 kx, c)200 kx, d) 200 kx	50
Şekil 4. 37	TWN-katkısız numunesinin makro fotoğrafı.....	51
Şekil 4. 38	TWN-katkısız numunesine ait geçirgenlik analizi.....	51
Şekil 4. 39	TWN-katkısız numunesine ait soğurma analizi.....	52
Şekil 4. 40	TWN-katkısız numunesine ait Tauc eğrisi	52
Şekil 4. 41	TWN-katkısız numunesine ait DSC termogramı.....	53
Şekil 4. 42	TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin makro fotoğrafı.....	53
Şekil 4. 43	TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait geçirgenlik analizi	54
Şekil 4. 44	TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait soğurma analizi.....	54
Şekil 4. 45	TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait Tauc eğrisi.....	55
Şekil 4. 46	TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait DSC termogramı	56
Şekil 4. 47	TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait SEM görüntüleri.....	56
Şekil 4. 48	TWN-0,5ZnTe-24h numunesinin makro fotoğrafı	57
Şekil 4. 49	TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait geçirgenlik analizi	57
Şekil 4. 50	TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait soğurma analizi	58
Şekil 4. 51	TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait Tauc eğrisi.....	58
Şekil 4. 52	TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait DSC termogramı	59
Şekil 4. 53	TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait XRD analiz sonucu	60
Şekil 4. 54	TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri	60
Şekil 4. 55	TWN-0,5ZnTe-48h numunesinin makro fotoğrafı	61
Şekil 4. 56	TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait geçirgenlik analizi	61
Şekil 4. 57	TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait soğurma analizi	62
Şekil 4. 58	TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait Tauc eğrisi.....	62
Şekil 4. 59	TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait DSC termogramı	63
Şekil 4. 60	TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait SEM görüntüleri	64
Şekil 4. 61	TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesinin makro fotoğrafı.....	64
Şekil 4. 62	TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait geçirgenlik analizi	65

Şekil 4. 63	TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait soğurma anlzizi	65
Şekil 4. 64	TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait Tauc eğrisi	66
Şekil 4. 65	TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait DSC termogramı	67
Şekil 4. 66	TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait SEM görüntüleri.....	67
Şekil 4. 67	TWN-1ZnTe-24h numunesinin makro fotoğrafı	68
Şekil 4. 68	TWN-1ZnTe-24h numunesine ait DSC termogramı	68
Şekil 4. 69	TWN-1ZnTe-24h numunesine ait XRD sonucu	69
Şekil 4. 70	TWN-1ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri a) 25 kx, b) 200 kx,	69
Şekil 5. 1	SNCA numunelerine ait soğurma ölçüm sonuçları	71
Şekil 5. 2	SNCA numunelerine ait DTA termogramları.....	72
Şekil 5. 3	SNCA numunelerine ait SEM görüntüleri a) SNCA-0,5ZnTe-24h, b) SNCA-0,5ZnTe-48h, c) SNCA-0,5ZnTe-60h, d) SNCA-0,5ZnTe-72h, e) SNCA-0,5ZnTe-120h	73
Şekil 5. 4	TWN-katkısız ve TWN-0,5ZnTe numunelerine ait soğurma ölçüm sonuçları75	
Şekil 5. 5	TWN-katkısız, TWN-0,5ZnTe ve TWN-1 ZnTe numunelerine ait soğurma ölçüm sonuçları	76
Şekil 5. 6	TWN-katkısız ve TWN-0,5ZnTe numunelerine ait DSC termogramları.....	77
Şekil 5. 7	TWN-katkısız ve TWN-1 ZnTe numunelerine ait DSC termogramları.....	77
Şekil 5. 8	TWN numunelerine ait SEM görüntüleri a)TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası, b)TWN-0,5ZnTe-24h, c)TWN-0,5ZnTe-48h, d)TWN-1ZnTe-döküm sonrası, e)TWN-1ZnTe-24h.....	78

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Bazı yarı iletkenlerin bant aralığı enerjisi, foton dalga boyu değerleri ve elektromanyetik spektrumda buldukları bölge.....	13
Çizelge 2. 2 Farklı kuantum noktaların Bohr uyarım yarıçapı değerleri.....	15
Çizelge 3. 1 SNCA sistemine ait numune bileşimi ve kullanılan toz miktarları	23
Çizelge 3. 2 Molce %0,5 ZnTe katkılandırılmış $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ sistemine ait numunelere uygulanan ısı işlem koşulları	23
Çizelge 3. 3 TWN sistemine ait numune bileşimleri ve kullanılan toz miktarları.....	24
Çizelge 3. 4 Molce %0,5 ve %1 ZnTe katkılandırılmış $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemine ait numunelere uygulanan ısı işlem koşulları	24
Çizelge 4. 1 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait optik ölçüm sonuçları.....	32
Çizelge 4. 2 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait optik ölçüm sonuçları	35
Çizelge 4. 3 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait optik ölçüm sonuçları	39
Çizelge 4. 4 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait optik ölçüm sonuçları	42
Çizelge 4. 5 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait optik ölçüm sonuçları	45
Çizelge 4. 6 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait optik ölçüm sonuçları	49
Çizelge 4. 7 TWN- katkısız numunesine ait optik ölçüm sonuçları	53
Çizelge 4. 8 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait optik ölçüm sonuçları	55
Çizelge 4. 9 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait optik ölçüm sonuçları	59
Çizelge 4. 10 TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait optik ölçüm sonuçları	63
Çizelge 4. 11 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait optik ölçüm sonuçları	66
Çizelge 5. 1 SNCA numunelerine ait optik ölçüm sonuçları	71
Çizelge 5. 2 SNCA numunelerine ait DTA ölçüm sonuçları.....	72
Çizelge 5. 3 TWN sistemine ait numunelerin optik ölçüm sonuçları	74
Çizelge 5. 4 TWN numunelerine ait DSC ölçüm sonuçları.....	76

**ZNTE KUANTUM NOKTA KATKILI CAMLARIN GELİŞTİRİLMESİ VE
KUANTUM KISITLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

İpek TUNÇ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Miray ÇELİKBİLEK ERSUNDU

Kuantum mekanik özellik gösterebilecek kadar küçük boyutlu, yaklaşık 10 ila 100 atomdan oluşan yarı iletken yapay atom kümeleri olarak tanımlanabilen kuantum noktalar, elektron-boşluk çiftinin hareketinin 3 boyutta kısıtlanması sonucu gösterdikleri kuantum sınırlama özelliği ile değiştirilebilir bant aralığı enerjisine sahiptir ve buna bağlı olarak ayarlanabilir optik ve elektriksel özellikler sunmaktadır. Bu sıra dışı özellikleri ile kuantum noktalar ışık yayan diyotlar, lazerler, optik filtreler, güneş hücreleri ve biyo görüntüleme gibi birçok uygulama alanına sahiptir ve keşfedildikleri tarihten beri kuantum noktalar konusunda yapılan çalışmalar artarak devam etmiştir.

Kuantum noktalar konusunda günümüze kadar yapılan çalışmaların çoğu Cd ve Pb esaslı kuantum noktalar üzerine odaklanmıştır, ancak son yıllarda devreye alınan çevresel düzenlemeler, ağır metallerin gösterdiği toksik özellikler nedeniyle Cd ve Pb içeren bu malzemelere kullanım kısıtı getirmiştir. Toksik özellik göstermedikleri için son zamanlarda araştırmaların odaklandığı Zn esaslı kuantum noktalar arasında ise ZnTe, en küçük bant aralığı enerjisine, en büyük Bohr uyarım yarıçapına ve insan gözünün en hassas olduğu 550 nm'de ışınım dalga boyuna sahip olmasıyla dikkat çekmektedir.

Kuantum noktaların üretimi için kullanılan farklı yöntemler ve bu yöntemlerin her birinin farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Bu yöntemler arasında uygulanması en kolay ve en çok tercih edilen yöntem olan yaş kimyasal yöntemde aglomerasyon ve düşük kararlılık gibi sorunlarla karşılaşılırken; diğer bir yöntem olan iyon aşılama ise işlem

sırasında malzeme yüzeyinde oluşturulan hatalar ve kuantum nokta sentezinin malzeme yüzeyiyle sınırlı kalması yönteme kullanım kısıtı yaratmaktadır. Diğer yöntemlerden farklı olarak kuantum noktaların fiziksel ve kimyasal olarak kararlı yapıya sahip inorganik cam matrisler içerisinde ergitme-döküm-kristalizasyon yöntemi ile sentezlenmesi ise, kuantum noktalara kontrollü büyüme imkanı ve yüksek stabilizasyon sağlarken; cam malzemelerin kolay şekillendirilebilir olması kuantum nokta katkılı camların birçok farklı uygulamaya yönelik üretimini kolaylaştırmaktadır. Bu avantajlı özelliklerinden dolayı kuantum noktaların cam matrisler içerisinde kontrollü kristalizasyonla üretilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır.

Opto-elektronik ve fotonik uygulamalarda yüksek kullanım potansiyeline sahip tellürit camlar ve bu uygulama alanlarında hali hazırda kullanılan soda kireç camlar içerisinde kuantum noktaların kontrollü olarak kristalizasyonu ile geliştirilecek cam nanokompozitler, özellikle sağlayacakları kontrol edilebilir optik ve elektriksel özellikler ile güneş pilleri, LED'ler ve lazerler gibi uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaca yönelik olarak literatürde ZnTe kuantum nokta katkılı camlar hakkında yapılan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların fosfat ve borosilikat esaslı tek bir cam kompozisyonunda kuantum noktaların sentezlenmesi ve sentezlenen bu kuantum noktaların tane boyutu karakterizasyonu konularına odaklandığı görülmüştür. Bu çalışmalar kapsamında, ZnTe kristalizasyonuna işlem süresinin, cam matrisin ve ZnTe katkı oranının etkisi hakkında çok kısıtlı bilgi bulunmaktadır. Ayrıca daha önce ZnTe kuantum noktalar konusunda yapılan çalışmalarda soda-kireç ve tellürit cam matrislerden kristalizasyon konusunda gerçekleştirilmiş bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, ZnTe kuantum noktalar opto-elektronik ve fotonik uygulamalarda yüksek kullanım potansiyeline sahip tellürit camlarda ve hali hazırda bu uygulamalarda kullanılan geleneksel soda-kireç cam bileşimine sahip silika camlarda kontrollü olarak kristallendirilmiş ve elde edilen ZnTe kuantum nokta katkılı cam nanokompozitlerle gerçekleştirilen optik, ısıl, faz ve mikroyapısal analizler ile cam matrisin, ısıl işlem süresinin ve ZnTe katkı oranının ZnTe kuantum noktaların kristalizasyon davranışına olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar ışığında cam nanokompozitlerin kuantum kısıtlama özellikleri değerlendirilmiştir. Bu tez çalışması ile ZnTe katkılı soda kireç ve tellürit cam nanokompozitler ilk defa sentezlenmiş ve cam matrisin, ZnTe katkı miktarının ve ısıl işlem süresinin ZnTe kuantum noktaların kristalizasyon davranışı üzerine olan etkisi ilk defa sistematik olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ZnTe, kuantum nokta, cam nanokompozit, silika cam, tellürit cam

**DEVELOPMENT OF ZNTE QUANTUM DOT-DOPED GLASSES AND
INVESTIGATION OF QUANTUM CONFINEMENT PROPERTIES**

İpek TUNÇ

Department of Metallurgical and Materials Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Miray ÇELİKBİLEK ERSUNDU

Quantum dots can be defined as artificial semiconductor atom clusters comprised of 10 to 100 atoms which are small enough to show quantum mechanical properties. Due to confinement of excitons in three spatial dimensions, quantum dots show quantum confinement effect and their band gap energies can be modified by changing their size. With these adjustable optical and electrical properties, quantum dots have many applications such as LED's, lasers, optical filters, solar cells, photo detectors, bioimaging, etc. Therefore, number of studies carried out in this field have dramatically increased. Until today, studies about quantum dot doped glasses mostly focused on Cd and Pb based quantum dots, however due to new environmental regulations about the toxicity of heavy metals the usage of these materials are significantly restricted. Therefore, nowadays, Zn based quantum dots are in great demand due to their non-toxicity. Among Zn based quantum dots, ZnTe quantum dots step forward due to their favorable properties such as radiation in the most sensitive region for human eye, narrowest band gap and widest Bohr exciton radius.

Until today many different methods were used for quantum dot production and each method has its own advantages and disadvantages. For example, agglomeration and low stability are the limitations for wet chemical method which is the easiest and most common technique for quantum dot production. Furthermore in ion implantation method, synthesizing of quantum dots are limited around the surface and surface deformations that are created during process restrict the utilization of this method.

Different from the methods mentioned above, production of quantum dots in physically and chemically stable matrices such as inorganic glasses by melt-quenching-crystallization method provides high stability and possibility of controlled growth to quantum dots. Also ease of formability of glasses makes easier the reproducibility of quantum dot glasses for different applications. Due to these advantages production of quantum dot doped glasses by melt-quenching-crystallization method steps forward.

Synthesizing of quantum dots in tellurite glasses which have high potential in opto-electronic and photonic applications and in soda-lime glasses which are already in use in opto-electronic and photonic applications have a great importance for the development of glass nanocomposites with adjustable electrical and optical properties to use in solar cells, LEDs, lasers, etc. Taking into account all the literature studies realized on ZnTe quantum dot doped glasses, it is observed that most of them are focused on crystallization of the quantum dots in phosphate and borosilicate glass systems and determination of the quantum dot's particle sizes. However there are very few researches about how does crystallization of quantum dots affect by changing crystallization time, glass composition and ZnTe amount. Also there is no research about crystallization behavior of ZnTe quantum dots in soda-lime and tellurite glass matrices.

In this present work, ZnTe quantum dots were synthesized in tellurite glasses which has high potential in opto-electronic and photonic applications and in soda-lime glasses which is already in use in opto-electronic and photonic applications by controlled crystallization. Also effect of time, glass matrix and ZnTe amount on crystallization process was investigated by optical, thermal, phase and microstructural analyses. Finally, quantum confinement properties of synthesized glass nanocomposites are evaluated. With this work, ZnTe doped soda-lime and tellurite glass nanocomposites were synthesized and effect of time, glass composition and ZnTe amount on ZnTe crystallization process was investigated systematically for the first time.

Keywords: ZnTe, quantum dot, glass nanocomposites, soda-lime glass, tellurite glass

1.1 Literatür Özeti

Cam yapıda sebep oldukları kırmızı renklenme sonucu ilk defa Rocksby tarafından keşfedilen kuantum noktalar, tane boyutu kuantum mekanik özellikler gösterebilecek kadar küçük, yarı iletken yapay atom kümeleri olarak tanımlanmaktadır. Kuantum noktalar, gösterdikleri kuantum sınırlama özelliği sonucu sahip oldukları tane boyutuna bağlı olarak değiştirilebilir bant aralığı enerjileri ile bilişim teknolojilerinden, enerjiye, çevreden tıbbi birçok farklı alanda kullanım bulmaktadır.

1932'de Rocksby tarafından silika esaslı camlarda gözlemlenen kırmızı renklenmenin sebebi, gerçekleştirilen X-ışınları difraksiyonu analizleri sonucunda, CdS ve CdSe kuantum noktalar olarak belirlenmiştir. Daha sonra 1981 yılında Ekimov ve Onushchenko tarafından nano CuCl kristalitlerinin boyutlarındaki değişimlerin silika camlarda mavi renklenmeye neden olduğu gözlemlenmiştir. 1982 yılında ise Efros ve Efros tarafından matriste bulunan CdS_xSe_{1-x} kuantum noktaların boyut değişimlerine ek olarak sitokiyometrisinin kontrolü ile de cam yapıda renklenme gözlemlenebileceği öne sürülmüştür. Bu deneysel gelişmelerin ardından 1984 yılında Brus, indirgenme potansiyellerinin boyuta bağlılığının açıklanabilmesi için uyarılmış elektron durumunu teorik olarak modellemiştir. Bütün bu çalışmalar, 1987 yılında Henglein tarafından farklı boyutlarda kuantum noktaların sentezinin gerçekleştirilmesi ile birlikte kuantum nokta katkı camların temelini oluşturmuştur.

İlk defa cam matris içerisinde keşfedilmiş olmalarına rağmen kuantum nokta sentezi için en yaygın denenmiş yöntem yaş kimyasal yöntemdir. Bu yöntem başlangıç malzemelerinin homojen dağılılabilmesi, düşük proses sıcaklığı gibi avantajlara sahip olsa

da düşük kararlılık ve aglomerasyon gibi sorunlar yöntemin kullanımını kısıtlamaktadır. Kullanılan diğer bir yöntem olan iyon aşılama işlemi ise farklı hedeflerin üzerine hızlandırılmış iyonların çarptırılması sonucu yüzeyde kuantum nokta oluşturulması temeline dayanmaktadır. Ancak sentezlenen kuantum noktaların yüzeye sınırlı kalması ve çarptırılan iyonların malzeme yüzeyinde oluşturduğu hatalar nedeniyle bu yöntem çok tercih edilmemektedir. Bahsedilen yöntemlerden farklı olarak kuantum noktaların inorganik camlar içerisinde sentezlenmesi ise, hem camların fiziksel ve kimyasal olarak kararlı yapıları hem de kolay şekillendirilebilir olmaları sayesinde kuantum noktaların stabilizasyonunu ve üretimini kolaylaştırmaktadır. Kuantum noktaların cam yapı içerisinde kontrollü kristallendirilmesi esasına dayanan bu yöntemde, kristalizasyon parametrelerine bağlı olarak kuantum noktaların tane boyutları ve bant aralığı enerjileri dolayısıyla kuantum kısıtlama etkileri kontrol edilebilmektedir.

Kuantum noktalar periyodik tablonun IIB ve III, IV, V, VIA grubunda bulunan elementlerden veya bu elementlerin bileşiklerinden elde edilebilmektedir. Bu element ve bileşikler arasında en çok çalışma Cd ve Pb esaslı kuantum noktalar üzerine yapılmıştır. Ancak ağır metallerin gösterdiği toksik özellikler nedeniyle, günümüzde devreye giren düzenlemeler ile Cd ve Pb esaslı kuantum noktaların kullanımının kısıtlanması sonucunda, çalışmalar Zn esaslı kuantum noktalara yönelmiştir. Zn esaslı kuantum noktalar arasında ise en küçük bant aralığı ve en büyük Bohr uyarım yarıçapına sahip olan ve insan gözünün en duyarlı olduğu dalga boyunda ışımaya yapan ZnTe kuantum noktalar ön plana çıkmaktadır. Bu avantajlı özellikleri ile ZnTe kuantum noktalar, ışık yayan diyotlar, güneş pilleri, optik filtreler ve ışık dedektörleri gibi birçok opto-elektronik ve fotonik uygulamada yüksek kullanım potansiyeline sahiptir. Günümüze kadar ZnTe kuantum nokta katkılı camlar hakkında çok kısıtlı çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda ZnTe kuantum noktaların fosfat ve borosilikat camlarda sentezlenmesi ve sentezlenen kuantum noktaların tane boyutu karakterizasyonu konularına odaklanılmıştır. Literatürde ZnTe kuantum noktaların kristalizasyon davranışına cam matrisin, değişen ZnTe oranının ve ısı işlem süresinin etkisinin sistematik olarak incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca ZnTe kuantum noktaların soda-kireç ve tellürit cam matrislerdeki kristalizasyon davranışını inceleyen herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, ZnTe kuantum noktaların opto-elektronik ve fotonik uygulamalarda yüksek kullanım potansiyeline sahip tellürit camlarda ve hali hazırda bu uygulamalarda kullanılan geleneksel soda-kireç cam bileşimine sahip silika camlarda kontrollü kristalizasyon ile sentezlenmesi, elde edilen cam nanokompozitlerin optik, ısı, faz ve mikroyapısal analizleri ile cam matrisin, ısı işlem süresinin ve ZnTe katkı oranının ZnTe kuantum noktaların kristalizasyon davranışına olan etkisinin belirlenmesi ve cam nanokompozitlerin kuantum kısıtlama özelliklerinin incelenmesidir.

1.3 Orijinal Katkı

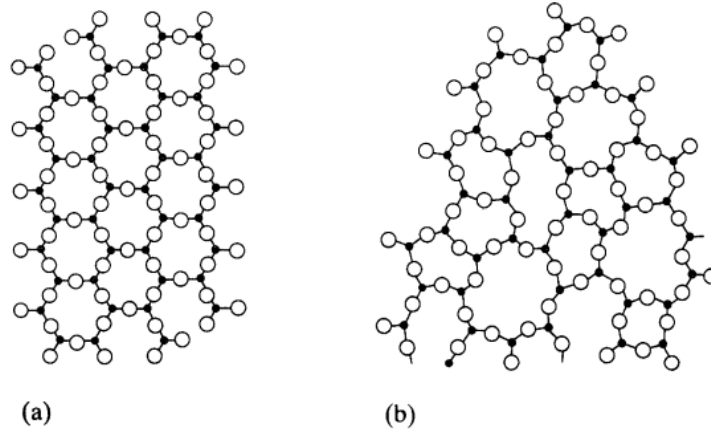
Literatürde kuantum noktaların ergitme-döküm-kristalizasyon yöntemi ile fiziksel, kimyasal ve mekanik olarak kararlı olan cam matrislerde sentezlenmesi konusunda yapılmış çalışmalar, genel olarak tek bir cam bileşiminde belirli bir sıcaklık ve sürede gerçekleştirilen kristalizasyon işlemi sonucu kristallendirilen kuantum noktaların tane boyutu tayini üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmalarda kuantum noktalar fosfat ve borosilikat cam matrislerden kristallendirilmiştir. Cam matrisin, ZnTe katkı miktarının ve ısı işlem süresinin ZnTe kuantum noktaların kristalizasyon davranışı üzerine olan etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında, soda kireç ve tellürit cam sistemler içerisinde kontrollü kristalizasyon yöntemi ile çekirdeklendirilip büyütülen ZnTe kuantum noktaların kristalizasyonu optik, ısı, faz ve mikroyapısal açıdan incelenmiştir. Farklı cam bileşimine ve ısı işlem sürelerine sahip numunelere uygulanan optik ölçümler ile tespit edilen geçirgenlik ve soğurma değerlerindeki değişim ile, DTA ve DSC analizleri sonucunda numunelerin ısı özelliklerinde gözlemlenen değişimler, cam matrisin ve ısı işlem süresinin ZnTe kristalizasyonuna olan etkisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Buna ek olarak yapıda sentezlenen ZnTe kuantum noktaların tespiti ve tane boyutu tayinleri, X-ışınları difraksiyonu ve HRSEM analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm analizlerden yola çıkılarak ZnTe kuantum nokta katkılı camların kuantum kısıtlama özellikleri değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasının literatüre orijinal katkısı ZnTe katkılı soda kireç ve tellürit cam nanokompozitlerin ilk defa sentezlenmesi ve cam matrisin, ZnTe katkı miktarının ve ısı işlem süresinin ZnTe kuantum noktaların

kristalizasyon davranışı ve kuantum kısıtlama özellikleri üzerine olan etkisinin ilk defa sistematik olarak incelenmesidir.



2.1 Cam Yapısı

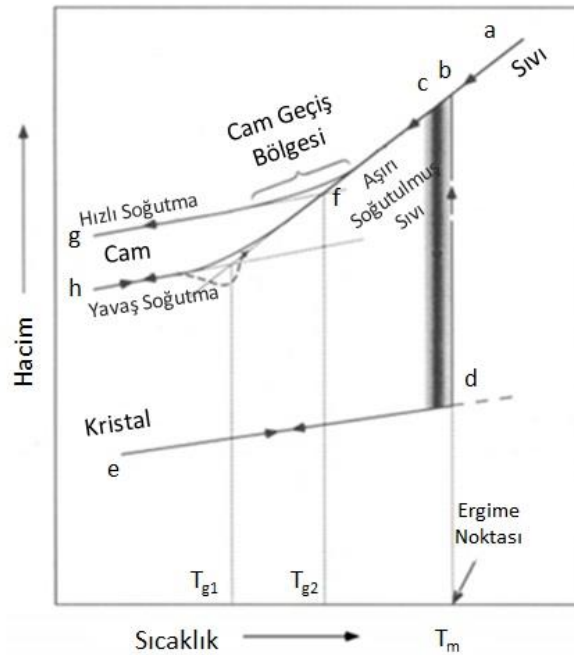
Cam, termodinamik olarak kararsız olan, mekanik olarak elastik bir katıya, fiziksel olarak ise viskoz bir sıvıya benzeyen, cam geçiş davranışı gösteren amorf bir malzemedir. Kristalin malzemelerin aksine, amorf malzemelerde uzun mesafeli periyodik düzen gözlenmez. Sadece ağ yapısını oluşturan moleküllerin boyutunun birkaç katı uzunluğunda kısa mesafeli düzenler gözlenir (Şekil 2.1) [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].



Şekil 2. 1 a) Kristalin, b) amorf yapının iki boyutlu şematik gösterimi [2]

Amorf malzemelerde gözlenen cam geçiş davranışı, sıcaklığa bağlı olarak değişen hacim veya entalpi diyagramıyla gösterilmektedir [1], [2], [3], [6], [7], [8]. Şekil 2.2'de de görüleceği gibi, malzemeler ergime noktalarının üzerindeki bir sıcaklıktan oda sıcaklığına soğutulduklarında iki farklı şekilde hacim değişimi gösterebilirler. İlk durumda, *ab* hattı boyunca soğutulan sıvının ergime noktasına kadar düzenli olarak hacmi azalır ve eğer

soğutma hızı yeterince yavaşsa, *bd* hattı boyunca hacminde ani bir düşüş gerçekleşir ve sıvı kristallenir. *d* noktasından itibaren kristal halde bulunan malzemenin azalan sıcaklık ile *de* hattı boyunca hacminde bir miktar daha düşüş gözlemlenir ve malzeme oda sıcaklığına ulaşır. İkinci yani soğutma hızının yeterince yüksek olduğu durumlarda ise, malzemenin kristallendiği *bd* hattı baypas edilir ve malzeme soğumaya *bf* hattı üzerinden devam eder. Bu durumun sonucunda aşırı soğutulmuş sıvı elde edilir. Soğutma süresi boyunca sıvının viskozitesi, atomların kristal yapıyı oluşturmasını engelleyecek kadar arttığından uzun mesafeli periyodik dizilim engellenmiş olur. Cam geçiş bölgesinden itibaren (*f* noktasından itibaren) hacim – sıcaklık grafiğinin eğiminde bir değişim meydana gelir ve eğim, kristal malzemenin eğimine neredeyse paralel olur. Malzeme, viskozitesinin oldukça yüksek olduğu cam geçiş sıcaklığının altında cam olarak adlandırılır. Cam geçiş sıcaklığı değeri, soğutma hızına bağlı olup; düşük soğutma hızlarında daha düşük sıcaklık değerlerinde gözlemlenir [3], [4], [5], [6], [7], [8].

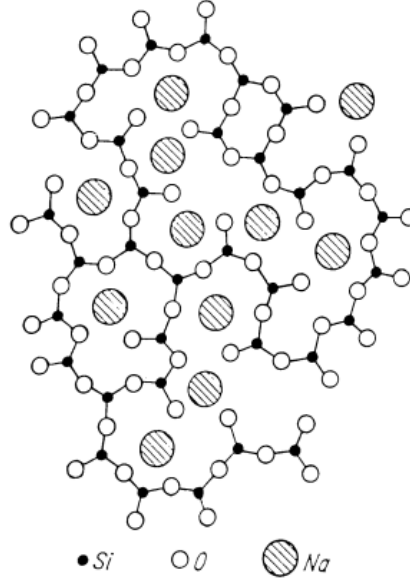


Şekil 2. 2 Sıcaklık – hacim eğrisi [7]

Cam yapının oluşumu hakkında bugüne kadar çok sayıda teori ortaya atılmış ve bu teoriler amorf yapının anlaşılmasına büyük katkı sağlamıştır. Bu konudaki ilk çalışma 1926 yılında Goldschmidt'e ait olup; cam yapabilen sıvıların soğuma sırasında tetrahedral yapı oluşturan ergiyikler olduğu yönündedir. 1932 yılında ise Zachariasen, Goldschmidt'in teorilerini genişleterek düzensiz ağ teorisi (Random Network Theory)

olarak bilinen ve gelecekte cam yapı teorilerinin temelini oluşturacak bir model hazırlamıştır (Şekil 2.3). Zachariasen bu teoride, soğuma sırasında birbirine köşelerden bağlı silika tetrahedralarının 3 boyutlu ağ yapısını oluşturduğunu; ancak bu ağ yapının kristal yapıdan farklı olarak simetrik ve periyodik olmadığını belirtmiştir. Buna ek olarak, çok yüzlü oluşturan oksitlerin cam yapmaya eğiliminin daha yüksek olduğunu, cam oluşturacak oksitte bulunan oksijen atomunun en çok iki katyona bağlanması gerektiğini, katyonun koordinasyon sayısının 3 veya 4 olması gerektiğini, çok yüzlülerin birbirleriyle köşelerden birleşmesi ve çok yüzlülerin en az üç köşesinin diğer çok yüzlüler tarafından paylaşılması gerektiğini belirtmiştir. Zachariasen bu teorisinde, cam yapısına katılan oksitleri katyonlarının koordinasyon sayılarına göre ağ yapıcılar, ara oksitler ve şebeke yapısını modifiye ediciler olarak 3 gruba ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre; koordinasyon sayısı 3 veya 4 olan Si, B, P, Ge ve As gibi katyonlar ağ yapıcı olarak, koordinasyon sayısı genellikle 6'dan büyük olan Na, K, Ca ve Ba gibi katyonlar ağ yapısını modifiye ediciler olarak görev alırlar. Kendi başlarına cam oluşturamayan ara oksitler ise, koordinasyon sayısı 4 olan ve ağ yapısını güçlendiren ve koordinasyon sayısı 6 ile 8 arasında olan ve ağ yapısını gevşetenler olarak sınıflandırılmıştır [8], [6], [7].

Stanworth, diğer teorilerden farklı olarak cam yapısını katyon valansı ile açıklamıştır. Teorisinde, cam yapıdaki oksitlerin katyonlarını elektronegativitelerine göre 3 gruba ayırmış ve cam yapma eğiliminin katyon valansının küçülmesiyle arttığını söylemiştir. Bu sınıflandırmaya göre; oksijenle yaptığı bağ %50 iyonik karaktere sahip olan ve 3 boyutlu ağ yapısını oluşturan katyonları ağ yapıcı (Si, B, P, Ge, vb.) olarak adlandırmıştır. Daha küçük elektronegativiteye sahip ve kendi başına ağ yapısı oluşturamayan ancak kısmen ağ yapısına katılan katyonların yerini alabilen katyonları ara oksit (Ti, Pb, Al, vb.), çok düşük elektronegativiteye sahip ve sadece ağ yapısını düzenleyen katyonları ise ağ yapısı modifiye ediciler (Na, Ca, K, Li, Mg, vb.) olarak sınıflandırmıştır [6].



Şekil 2. 3 Soda camındaki atomik dizilim [8]

Dietzel ise teorisini, Goldschmidt'in teorisine anyon ve katyonların boyut ve kutuplanabilirliklerini ekleyerek geliştirmiştir. Cam yapıyı (2.1)'deki gibi iyon mukavemetine bağlı olarak açıklamıştır.

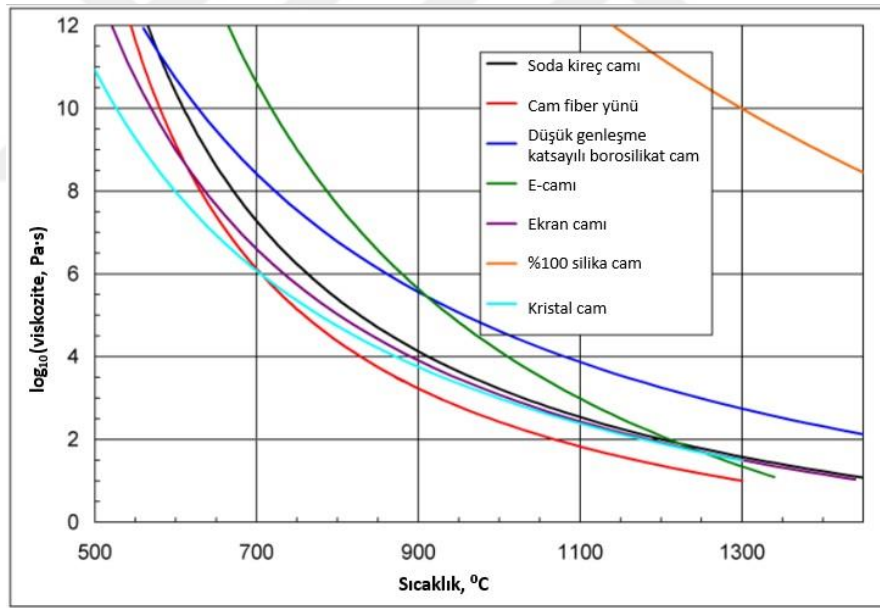
$$F = \frac{Z^2}{r} \quad (2.1)$$

Bu denkleme göre; iyonik alan mukavemeti değerleri 0,1 ila 0,4 arasında olan katyonlar ağ yapıyı modifiye edici, 0,5 ila 1 arasında olan katyonlar ara bileşik, 1,4 ila 2 arasında olan katyonlar ise ağ yapıcı olarak sınıflandırılır [8].

Yukarıda bahsedilen cam yapısı hakkında ortaya atılan teoriler, ortak olarak cam yapıyı daha kolay oluşturmak için gerekli atomik dizilimleri ve bağ karakterlerini vurgulamıştır. Bu yapısal teorilerden daha sonra ortaya atılan ve hala geçerliliğini koruyan kinetik teoriye göre ise, uygun soğutma koşulları sağlandığında her malzemenin cam yapı oluşturabileceği ortaya konulmuştur. Uygun soğutma koşulları, malzemenin kristal yapı oluşturmak için gerekli olan düzeni sağlayamayacak kadar hızlı soğutulması anlamına gelmektedir. Kritik soğutma hızı olarak isimlendirilen bu süre, malzemenin çekirdek oluşum ve büyüme hızları ile orantılıdır. Örneğin, iyi bir cam yapıcı olan SiO₂ için kritik soğutma hızı 9 x 10⁻⁶ °C/s iken; bu değer bilinen en kötü cam yapıcı olan H₂O için 10⁷ °C/s'dir. Yani ergiyik haldeki silikadan cam yapı elde etmek için saniye başına sıcaklığının

sadece 0,000009 °C azalması yeterliyken; cam eldesi için suyun sıcaklığının saniyede 10^7 °C azaltılması gerekmektedir [1], [2], [3], [6], [7], [8].

Kinetik teoriye göre, malzemelerin cam yapabilme özelliği ergiyiğin viskozitesinin sıcaklıkla olan ilişkisine oldukça bağlıdır. Bu nedenle farklı cam türleri farklı viskozite sıcaklık eğrilerine sahiptir (Şekil 2.4). Birçok element veya bileşik, ergime noktasının üzerindeki sıcaklıklarda suya yakın viskoziteye ($10^{-3} - 10^{-4}$ Pa.s) sahiptir ve bu malzemeler kristallenmeye yatkındır. Ancak SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , GeO_2 gibi bileşiklerin ergiyikleri ergime noktasının üzerindeki sıcaklıklarda daha yüksek viskoziteye ($10^4 - 10^6$ Pa.s) sahiptir ve bu malzemelerin cam yapma eğilimi daha yüksektir. Bunun sebebi, yüksek viskozitenin kristal yapıyı oluşturacak atomik düzeni zorlaştırmasıdır. Cam malzemeler için viskozite değeri ayrıca, habbesiz ve homojen bir ergiyiğin elde edilmesi, iç gerilmelerin giderilmesi için gerekli olan ısı işlem sıcaklığı ve son olarak camın şekillendirilebileceği sıcaklığın belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır [6].



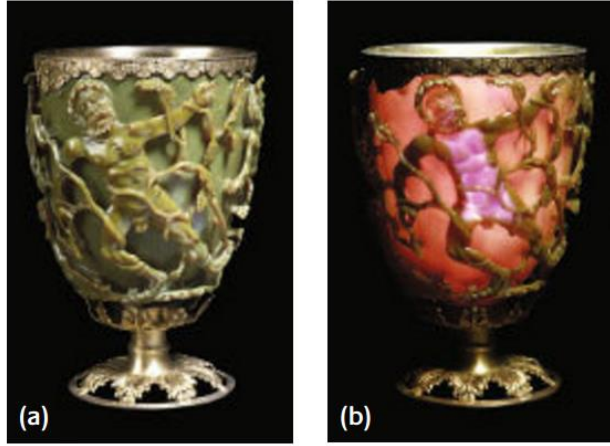
Şekil 2. 4 Farklı cam tiplerine ait viskozite sıcaklık eğrileri [9]

2.2 Cam Nanokompozitler

Kompozitler, farklı kimyasal veya fiziksel özelliklere sahip birden fazla bileşenden oluşan ve kendini oluşturan bileşenlerin özelliklerini taşıyan gelişmiş özellikli malzemelerdir. Kompoziti oluşturan bileşenlerden sürekli yapıda ve miktarca fazla olan faz matris, süreksiz veya dağılmış halde ve daha az miktarda bulunan faz ise katkı olarak adlandırılmaktadır. Katkılandırılan fazın boyutunun 1 ila 100 nm arasında olduğu kompozitler ise nanokompozit olarak sınıflandırılmaktadır. Matrise amorf veya kristal yapıda katkılandırılabilen nano tanecikler, oluşturdukları nanokompozit yapıya küçük tane boyutları sayesinde eşsiz özellikler kazandırmaktadır [10].

Camlar; termal, mekanik ve kimyasal olarak kararlı ve homojen yapıları sayesinde, kompozit yapılarda matris olarak kullanılmaya oldukça uygundur. Ayrıca cam matrisler, katkılandırılan nano taneciklerin çevreden izolasyonu ve stabilizasyonu açısından da avantaj sağlamaktadır [11]. Gösterdikleri renklenme ve lineer olmayan optik özellikler nedeniyle, özellikle metal veya yarı iletken katkılı cam nanokompozitler hakkında literatürde oldukça fazla çalışma bulunmaktadır [10], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18].

Metal katkılı cam nanokompozitlerin gelişim süreci incelendiğinde, bu malzemelerin geçmişinin M.Ö. 400'lü yıllara dayandığı görülmektedir. Roma döneminde üretilen Lycurgus Kadehi, cam nanokompozit malzemeler için en bilinen örneklerden birisidir. Soda-kireç camından üretilmiş olan bu kadeh, içindeki nano boyuttaki gümüş ve altın tanecikler sayesinde farklı dalga boylarındaki ışığı geçirme ve yansıtma özelliğine sahiptir. Şekil 2.5a'da bir kaynaktan gelen ışığın Lycurgus Kadehi üzerinden yansıması durumunda, metal tanecikleri ışığı yansıtarak kadehin yeşil renkte görünmesini sağlamaktadır. Şekil 2.5b'de ışık kaynağının kadehin içine yerleştirildiği durumda ise, ince boyuttaki metal taneleri mavi renkteki ışığı daha çok saçarak kadehin kırmızı renkte görünmesini sağlamaktadır [19].



Şekil 2. 5 Lycurgus kadehi [19]

Cam matrise katkılandırılan metal ve yarı iletken nano taneciklerin camlara kazandırdığı bir diğer özellik ise, iyi lineer olmayan optik özelliklerdir. Geleneksel camlara kıyasla üstün olan lineer olmayan optik özellikleri ile, gelen ışık şiddetine bağlı olarak kırılma indisleri değişebilen metal veya yarı iletken katkılı cam nanokompozitler pek çok fotonik uygulama için ideal malzemelerdir. Ayrıca, nano boyuttaki yarı iletken taneciklerin gösterdiği kuantum kısıtlama etkisi sayesinde, kontrol edilebilir optik ve elektriksel özellikler sunan yarı iletken katkılı cam nanokompozitler pek çok ileri teknoloji uygulama için ön plana çıkmaktadır [10].

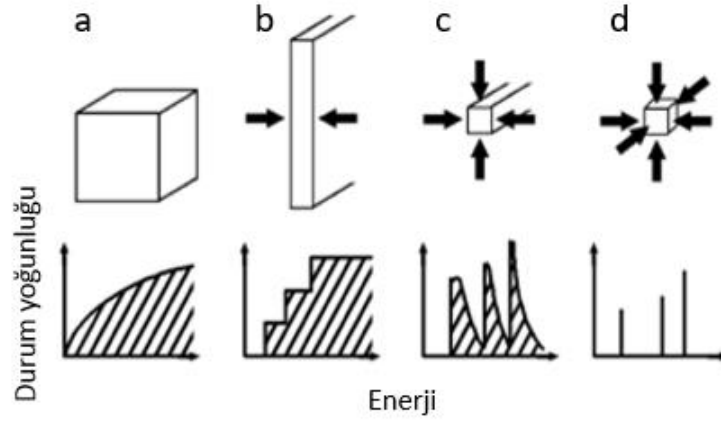
Element veya bileşik halde cam matrislere katkılandırılabilen yarı iletken tanecikler, periyodik cetvelin IIB ile III, IV, V ve VIA gruplarındaki elementlerden üretilmektedir. Boyutları kuantum mekanik özellik gösterebilecek kadar küçük olan yarı iletken element veya bileşikler kuantum noktalar olarak adlandırılmaktadır. Kuantum noktaların cam matrislere katkılandırılmasıyla elde edilen kuantum nokta katkılı camlar ise, gösterdikleri optik ve elektriksel özellikler ile katı hal lazerlerinde, LED'lerde, güneş pillerinde ve sensörlerde kullanılmak için yüksek potansiyele sahiptir [10], [20], [21], [22], [23], [24], [25].

2.3 Kuantum Nokta Katkılı Camlar

Kuantum noktalar; kuantum mekanik özellik gösterebilecek kadar küçük, değiştirilebilen bant aralığına sahip, yarı iletken atom kümeleri olarak tanımlanabilir. Küçük boyutları sayesinde gösterdikleri kuantum kısıtlama özelliği ile bulk malzemelerden ayrılan bu malzemeler, ayarlanabilir optik ve elektronik özellikler sunmaktadır [26], [27], [28], [29], [30]. Gösterdikleri bu üstün özellikler ile lineer olmayan optik, fotovoltaik, opto-elektronik ve biyomedikal alanlarındaki ileri teknoloji uygulamaların gerektirdiği özellikleri karşılayabilecek yeni nesil malzemelerdir [10], [20], [21], [22], [25], [31], [32].

IIB ile III, IV, V ve VIA grubu elementlerden üretilen kuantum noktalar, element veya bileşik halde bulunabilmektedir. Element olarak silisyum, karbon ve germanyum en çok çalışılmış kuantum noktalardır. Bileşik olarak ise, II-VI grubu (ZnO, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, vb.), III-V grubu (BN, AlN, GaAs, vb.) ve IV-VI grubu (PbS, PbSe, PbTe, vb.) bileşikler hakkında çalışmalar bulunmaktadır [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47].

Kuantum noktalar, yarı iletkenlerde gözlenen ayrık bant yapısına sahiptir. Bu yapıda, valans ve iletim bantları birbirlerinden belirli bir enerji değeri kadar ayrıktır. Bu enerji değeri bant aralığı enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Makro boyutlardaki yarı iletken malzemelerde bant aralığı enerjisi malzemeye özgü sabit bir değerdir. Ancak nano boyuttaki yarı iletken tanecikler, kuantum kısıtlama özelliği nedeniyle bu duruma uymamaktadır [26], [27]. Bulk yarı iletken malzemeler dışarıdan bir etki (ısı, foton akışı, voltaj, vb.) ile uyarıldığında, malzemenin valans bandında bulunan bir elektronu iletim bandına geçmekte ve valans bandında bir boşluk oluşturmaktadır. İletim bandındaki uyarılmış elektron ile valans bandındaki boşluk arasındaki mesafe Bohr uyarım yarıçapı (a_B) olarak adlandırılmaktadır [48]. Yarı iletken taneciklerin boyutu Bohr uyarım yarıçapının altına düştüğünde, bant yapılarında değişim gözlenmektedir. Bohr uyarım yarıçapından büyük tanelerde sürekli bir bant yapısı gözlenirken, bu değerinin altında bant yapısını oluşturan enerji seviyeleri süreksiz ve ayrıktır. Bu etki kuantum kısıtlama özelliği olarak bilinmektedir ve bu özelliğin bir sonucu olarak kristal boyutu küçüldükçe bant aralığı büyümektedir [31]. Şekil 2.6a'da makro boyuttaki bulk malzemelerin sürekli bant yapısı, Şekil 2.6d'de ise 0 boyutlu kuantum noktaların bant yapısını oluşturan süreksiz ve ayrık enerji seviyeleri görülmektedir [28], [49].



Şekil 2. 6 Farklı boyutlardaki yarı iletken kristallerin bant yapılarını oluşturan enerji seviyeleri [49] a) 3-boyutlu yapı, b) 2-boyutlu yapı, c) 1-boyutlu yapı, d) 0-boyutlu yapı

Dışarıdan bir etki ile uyarılan yarı iletken bulk malzemelerde, iletim bandında bulunan uyarılmış elektronlar kararlı durumda oldukları valans bandına geri dönme eğilimindedir. Bunun için sahip olduğu fazla enerjiyi ışıma yaparak tüketir. Yapılan ışıma sonucu oluşan fotonun enerjisi, malzemenin bant aralığı enerjisine eşittir [28], [29], [32]. Yayılan fotonun dalga boyu eşitlik (2.2)'deki gibi malzemenin bant aralığı enerjisi kullanılarak bulunabilmektedir.

$$E = \frac{h c}{\lambda} \quad (2.2)$$

Görünür bölgede ışıma yapan yarı iletkenler birçok optik uygulamada kullanım için avantaj sağlamaktadır. Çizelge 2.1'de, bazı yarı iletkenlerin yaptığı ışıma sonucu yaydığı fotonların dalga boyları eşitlik (2.2)'ye göre hesaplanarak verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Bazı yarı iletkenlerin bant aralığı enerjisi, foton dalga boyu değerleri ve elektromanyetik spektrumda buldukları bölge

Yarı iletken	Bant Aralığı Enerjisi (eV)	Foton Dalga Boyu (nm)	Elektromanyetik Spektrumdaki Yeri
Alüminyum Nitrür (AlN)	6,28	197,43	Uzak mor ötesi
Lityum Nayobat (LiNBO ₃)	4,00	309,96	Orta mor ötesi
Çinko Sülfür (ZnS)	3,54	350,24	Yakın mor ötesi

Çizelge 2. 1 Bazı yarı iletkenlerin bant aralığı enerjisi, foton dalga boyu değerleri ve elektromanyetik spektrumda buldukları bölge (devamı)

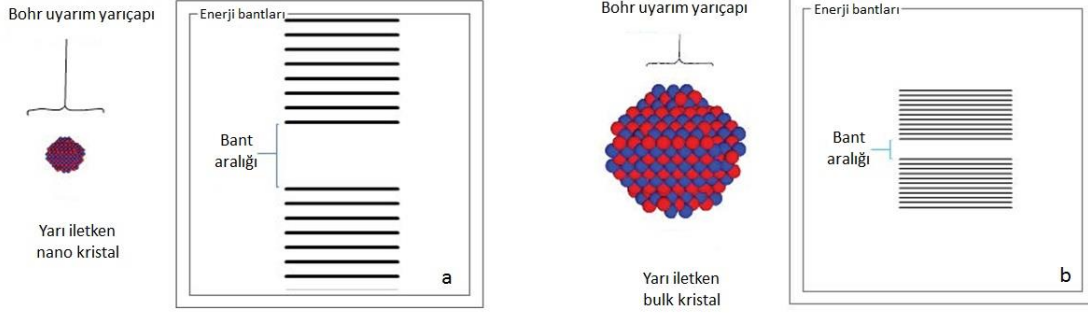
Bakır Klorür (CuCl)	3,40	364,66	Yakın mor ötesi
Çinko Oksit (ZnO)	3,37	367,91	Yakın morötesi
Silisyum Karbür (SiC)	3,00	413,28	Görünür bölge / Mor
Çinko Selenür (ZnSe)	2,70	459,20	Görünür bölge / Mavi
Kadmiyum Sülfür (CdS)	2,42	512,33	Görünür bölge / Yeşil
Çinko Tellür (ZnTe)	2,25	551,04	Görünür bölge / Yeşil
Bakır (I) Oksit	2,17	571,36	Görünür bölge / Sarı
Kadmiyum Selenür (CdSe)	1,74	712,55	Görünür bölge / Kırmızı
Kadmiyum Tellür (CdTe)	1,49	832,11	Yakın kızılötesi
Kurşun (II) Sülfür	0,37	3350,92	Orta kızılötesi
Kurşun Selenür (PbSe)	0,27	4592,01	Orta kızılötesi

Bulk yarı iletken malzemelerin bant aralığı enerjileri sabit bir değerde olduğu için yaptıkları ışımalar aynı enerjiye ve dalga boyuna sahiptir. Ancak kuantum noktalarda, yani malzemenin tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapının altına indiği durumlarda, uyarılmış elektronlar enerjilerini iletim bandına geçerek harcamadıkları için kinetik enerjileri artar ve buna bağlı olarak yaptıkları ışımaların dalga boyu küçülür. Artan kinetik enerji aynı zamanda ışımaların şiddetinin de artmasına neden olur. Kuantum noktalarda bant aralığı enerjisinin tane boyutuna bağlı olarak değişebilmesi, oluşan ışımaların dalga boyunu kontrol edilebilir hale getirerek bu malzemelere üstün optik özellikler kazandırmaktadır [10], [23], [24], [31]. Farklı kuantum noktalara ait Bohr uyarım yarıçapı değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir [46], [51], [52].

Çizelge 2. 2 Farklı kuantum noktaların Bohr uyarım yarıçapı değerleri

Kuantum Nokta	Bohr Uyarım Yarıçapı (nm)
Çinko Sülfür (ZnS)	1,7
Çinko Oksit (ZnO)	2,2
Çinko Selenür (ZnSe)	11,4
Kadmiyum Sülfür (CdS)	3,1
Çinko Tellür (ZnTe)	5,2
Kadmiyum Selenür (CdSe)	6
Kadmiyum Tellür (CdTe)	6,5
Galyum Arsenik (GaAs)	10
İndiyum Arsenik (InAs)	34
Kurşun Selenür (PbSe)	46
Kurşun Sülfür (PbS)	18

Kuantum noktaların lüminesans ve soğurma gibi optik özellikleri, önemli ölçüde tane boyutlarına bağlıdır. Tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapının üzerinde olduğu durumda ($R > a_B$) kuantum noktalarda zayıf kuantum kısıtlama etkisi gözlenirken; tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapının altında olduğu durumda ($R < a_B$) güçlü kuantum kısıtlama etkisi gözlenir [26], [27], [28], [53]. Şekil 2.7a'da yarı iletken kristal yarıçapının Bohr uyarım yarıçapından küçük olduğu durumlarda görülen ayırık bant yapısı, Şekil 2.7b'de ise bulk yarı iletken kristallerde görülen sürekli bant yapısı gösterilmektedir. Kuantum noktalardan yüksek şiddette ışımalar elde edilmesi ancak güçlü kuantum kısıtlama etkisi ile mümkündür. Güçlü kuantum kısıtlama etkisinin gözlenebilmesi ise, ancak kararlı ve Bohr uyarım yarıçapından düşük tane boyutuna sahip kuantum noktaların uygun üretim yöntemleri ile sentezlenmesi ile mümkündür.



Şekil 2. 7 Bulk yarı iletkenlerde ve kuantum noktalarda görülen bant yapısı [54]

Kuantum noktaların üretimi için günümüze kadar yaş kimyasal, iyon katkılandırma ve ergitme-döküm-kristallendirme gibi yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında yaş kimyasal yöntem, prosesin basitliği ve başlangıç malzemelerinin homojen dağılılabilmesi gibi özellikleriyle en yaygın olarak çalışılmış yöntemdir [30], [55], [56], [57]. Yaş kimyasal yöntem, temel olarak başlangıç malzemeleri, çözücü ve katalizörden oluşan çözelti içerisinde kuantum noktaların sentezidir. Ancak bu yöntemle üretilen kuantum noktalarda yaşanan aglomerasyon ve stabilizasyon problemleri, yöntemin kullanımını kısıtlamaktadır. Kuantum noktaların üretiminde kullanılan bir diğer yöntem ise iyon katkılamadır. Bu yöntemde, kuantum noktalar elektrik alanda hızlandırılmış iyonların bir altlık üzerine çarptırılması ile üretilmektedir. Yöntem farklı bileşimlerde kuantum noktaların üretilebilmesi gibi bir avantaj sunarken; katkılandırılan iyonların yüzeye sınırlı kalması ve yüzeye çarpan iyonların malzeme yüzeyinde oluşturduğu hatalar gibi dezavantajlara sahiptir [58], [59], [60]. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında ergitme-döküm-kristalizasyon yöntemi, kuantum noktaların değiştirilebilir optik ve elektriksel özellikleri ile camın yüksek şeffaflık ve kolay şekillendirilebilme özelliklerinin birleştiği cam nanokompozitlerin sentezi açısından ön plana çıkmaktadır. Bu yöntemde camın termal, kimyasal ve mekanik olarak kararlı yapısı, kuantum noktaların stabilizasyonunu da kolaylaştırmaktadır [22], [49], [61].

Günümüze kadar literatürde en çok II-VI, III-V ve IV-VI grubu kuantum noktalar ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu kuantum noktalar arasında geniş ve görünür bölgeye denk gelen bant aralığına sahip II – VI grubu bileşiklerden (ZnO, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe ve CdTe) elde edilen kuantum noktalar opto-elektronik cihazlarda, LED’lerde ve biyo görüntüleme yüksek kullanım potansiyeline sahiptir. II-VI grupla ilgili araştırmaların büyük kısmı, Rocksby tarafından keşfedilen CdS ve CdSe kuantum noktalar hakkındadır

[62]. Cd esaslı kuantum noktalarla ilgili yapılan önemli çalışmalarda Xu ve diğ. cam matrislerde sentezlenen CdS kuantum noktaların ışım parlaklıklarının iyon değişimi prosesi aracılığıyla matrise eklenen gümüş iyonları ile iyileştiğini saptamıştır [47]. Han ve diğ. silika camlarda CdSe/CdS çekirdek/kabuk yapısında kuantum noktalar sentezlemiş ve bu camların beyaz renkli LED'ler için renk dönüştürücü olarak kullanılabilceğini belirtmiştir [38]. Jose ve diğ. CdSe ve Eu^{3+} katkılandırılmış silika camlarda, katkılandırılan nadir toprak elementi iyonlarının ışım parlaklığını iyileştirdiğini gözlemlemiştir [63]. Wageh ve diğ. fosfat camlarda CdTe kuantum noktaların sentezini ve cam bileşiminde bulunan ZnO bileşiğinin CdTe kuantum noktaların büyümesine olan etkisini araştırmıştır [45]. Bu çalışmalar haricinde, düşük bant aralığı enerjileri ile güneş pillerinde kullanılmak için ideal malzemeler olan CdSe ve CdTe kuantum noktalar hakkında yapılmış çok sayıda çalışma vardır [64].

IV-VI grubu kurşun kalkojenit kuantum noktalar (PbS, PbSe ve PbTe), görünür bölge ile yakın kızılötesi bölge arasındaki ışınları absorblama özellikleri sayesinde, fiber optik güçlendiricilerde, yakın kızılötesi lazerlerde ve fotonik uygulamalarda kullanım için yüksek potansiyele sahiptir [65]. Ayrıca sahip oldukları geniş Bohr uyarım yarıçapı, bu malzemelerin kuantum kısıtlama özelliklerinin çalışılmasını kolaylaştırmaktadır. Kurşun esaslı kuantum nokta katkılı camlarda gözlemlenen güçlü kuantum kısıtlama etkisi literatürde Wise tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada detaylı bir şekilde incelenmiştir [46]. Pb esaslı kuantum noktaların cam yapı içerisinde sentezlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda, Shim ve diğ. silika camlara katkılandırılan Er_2O_3 'ün PbS kuantum noktaların oluşumuna etkisi üzerinde çalışmış ve bağ yapmış oksijen iyonlarına bağlanan Er^{3+} iyonlarının PbS kuantum noktalar için çekirdeklenme merkezi görevi gördüğünü belirtmiştir [43]. Heo ve Liu yaptıkları çalışmada ısıl işlem süresini değiştirerek PbS kuantum noktaların ışım dalga boylarını değiştirmiş ve bu camların fiber optik güçlendirici olarak kullanıma uygun olduğunu belirtmiştir [39]. Ma ve diğ. silika camlarda PbSe kuantum noktalar sentezlemiş, cam bileşimindeki ZnO'nun kuantum nokta oluşumuna etkisini incelemiş ve artan ZnO miktarı ile PbSe kuantum noktaların çekirdeklenme hızının azaldığını ancak büyüme hızının arttığını belirlemiştir [66].

Günümüzde Cd, Pb gibi toksik özellik gösteren ağır metallerin insan vücuduna olan kanıtlanmış zararlı etkilerinden dolayı, kullanımları ile ilgili kısıtlama çalışmaları yapılmaktadır [67]. Bu kısıtlamalar, bugüne kadar çalışmaların odaklandığı Pb ve Cd esaslı kuantum noktalara olan ilginin azalmasına ve Zn esaslı kuantum noktaların ön plana çıkmasına neden olmuştur.

Görünür bölgeye denk gelen bant aralığı enerjisi değerlerine ve geniş bant aralıklarına sahip Zn esaslı kuantum noktalar, toksik özellik göstermemeleri sayesinde kuantum noktalar konusunda yapılan yeni çalışmaların odak noktası olmuştur. Bu avantajlı özellikleri ile Zn esaslı kuantum noktalar (ZnO, ZnS, ZnSe ve ZnTe), kısa dalga boylu görünür bölge lazerleri, güneş pilleri, LED'ler, ışık dedektörleri ve daha birçok opto-elektronik cihazda kullanım potansiyeline sahiptir [41], [42], [68]. Örnek olarak, oda sıcaklığında sahip oldukları geniş bant aralığı enerjileri (3,3 eV) ile ZnO kuantum noktalar, morötesi ve mavi renkli görünür bölge opto-elektronik uygulamaları için uygundur. Ghaemi ve diğ. ZnO kuantum nokta katkılı silika camlarda alkali iyonların görünür bölge geçirgenliğine olan etkilerini araştırmış ve K₂O içeren camların şeffaf, Li₂O ve Na₂O içeren camların ise yarı şeffaf olduğunu tespit etmiştir [37]. Yu ve diğ. cam matrislere Eu³⁺ ve ZnO katkılanmış ve katkılanırılan Eu³⁺ iyonları ile kuantum noktaların parlaklıklarının arttığını gözlemlemiştir [69]. Planelles-Arago ve diğ. sensör ve lazer uygulamalarında kullanıma uygun ZnS katkılı silika esaslı camlarda lantanit iyonlarının kuantum noktaların parlaklığına etkisini incelemiştir [41].

Çinko esaslı kuantum noktaların içerisinde ZnTe kuantum noktalar, kübik çinko sülfür yapıları, 2,26 eV değerindeki bant aralığı enerjileri ve insan gözünün maksimum hassasiyette olduğu ışın dalga boyuna (550 nm) sahip olmaları ile parlak renkli LED'ler başta olmak üzere birçok opto-elektronik uygulamada yüksek kullanım potansiyeline sahiptir [42]. Günümüze kadar ZnTe kuantum nokta katkılı camlar hakkında çok kısıtlı çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda ZnTe kuantum noktaların fosfat ve borosilikat camlarda sentezlenmesi üzerine gerçekleştirilmiştir [35], [42], [44], [68], [70], [71].

Dantas ve diğ. bileşiminde ZnO içeren fosfat camlara metalik tellür katkılanırarak cam yapıda ZnTe kuantum nokta sentezlemiş ve yapıda oluşturulan kuantum noktaların boyutları ve camların soğurma davranışlarını incelemiştir [68]. Bir diğer çalışmasında Dantas ve diğ. fosfat camlara Mn ve ZnTe kuantum noktaları birlikte katkılanırılmış ve

Mn katkısının ZnTe kuantum noktaların kübik çinko sülfür yapısını değiştirmediğini ve geliştirilen $Zn_{1-x}Mn_xTe$ kuantum noktaların tek elektron alan etkili transistör, litografi ve yüzey modifikasyonu gibi alanlarda kullanıma uygun olduğunu belirtmiştir [33], [34]. Neto ve diğ. ZnO içeren fosfat camlara metalik tellür, Yb^{3+} ve Eu^{3+} katkılarak ZnTe kuantum nokta sentezlemiş ve bu kuantum noktaların ortalama tane boyutu ve lüminesans özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda sentezlenen camların 920 ila 1060 nm yakın kızılötesi bölge LED'lerinde kullanılabilieceğini belirtmiştir [71]. Du ve diğ. ZnO- TeO_2 - P_2O_5 cam sisteminde ergitme-döküm yöntemi ile ZnTe kuantum nokta sentezleyerek bu camların lineer olmayan optik özelliklerini ve renklenme mekanizmalarını incelemiştir. Cam numunelerde gözlenen renklenmenin yapıda oluşan ZnTe kuantum noktalardan kaynaklandığı ve bileşimdeki TeO_2 miktarının cam yapısını ve oluşan ZnTe kuantum nokta miktarını oldukça etkilediğini ve üçüncü derece lineer olmayan optik duyarlılıkları silika camlara kıyasla 10^3 kat fazla olan bu camların fotonik uygulamalarda yüksek kullanım potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir [70]. Molla ve diğ. ZnTe ve Eu^{3+} katkılanırılmış borosilikat camlarda ergitme-döküm-kristalizasyon yöntemi ile ZnTe kuantum noktaları sentezlemiş ve camların termal, fiziksel ve optik özelliklerini incelemiştir. Lüminesans ölçümleri sonucunda, artan ısı işlem süresi ile ışımaya şiddetinin azaldiğını ve kuantum noktaların boyutlarının artmasına bağlı olarak kuantum kısıtlama etkisinin zayıfladığını belirtmiştir [42]. Silva ve diğ. ZnO içeren fosfat camlara metalik tellür katkılarak ZnTe kuantum nokta sentezlemiş ve elde ettiği yarı iletken kristalitlerin optik özelliklerini incelemiştir [44]. Falci ve diğ. ZnO içeren fosfat camlara TeO_2 ve Yb^{3+} katkılarak ZnTe kuantum nokta sentezlemiş ve optik özelliklerini incelemiştir [35]. Freitas ve diğ. fosfat camlarda sentezlediği ZnTe kuantum noktalara Yb^{3+} katkılanırılmış ve ısı dağılıma gücü ile ısı iletkenliğini incelemiş ve bu camların yüksek ısı dağılıma gücüne ve düşük ısı iletkenliğe sahip olduğunu, Yb^{3+} miktarının, ısı dağılıma veya ısı iletkenlik değerlerini düşürmediğini belirtmiştir [36].

Yukarıda bahsedilen çalışmalar genel olarak fosfat ve borosilikat cam matrisler içerisinde ZnTe kuantum noktaların sentezi ve sentezlenen bu kuantum noktaların boyutlarının ve optik özelliklerinin karakterize edilmesi üzerine odaklanmıştır. ZnTe kuantum noktaların cam matris içerisindeki kristalizasyon davranışını inceleyen oldukça az çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, opto-elektronik ve fotonik uygulamalarda

yüksek kullanım potansiyeline sahip tellürit camlarda ve hali hazırda bu uygulamalarda kullanılan geleneksel soda-kireç cam bileşimine sahip silika camlarda ZnTe kuantum noktaların sentezlenmesi ve sentezlenen cam nanokompozitlerin kuantum sınırlama özelliklerinin incelenmesidir.



DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, ZnTe kuantum noktaların soda-kireç ve tellürit camlarda kontrollü kristalizasyon ile büyütülmesi ve kuantum sınırlama özelliğinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemlerinde belirlenen bileşimlerde numuneler hazırlanmış, elde edilen numuneler kuantum nokta kristalizasyon reaksiyonunun zamana bağlı incelenmesi amacıyla farklı sürelerde ısıtılma tabii tutulmuş ve elde edilen nanokompozit camlar optik, ısı ve faz ve mikroyapısal açıdan incelenmiştir.

3.1 Numunelerin Sentezlenmesi

Deneysel çalışmalarda üretilen iki farklı grup numuneden ilki olan silika esaslı numunelerde başlangıç malzemesi olarak, yüksek saflıkta SiO_2 (%99,5 saflıkta, Alfa Aesar Company), Na_2CO_3 (%99,5 saflıkta, Alfa Aesar Company), CaCO_3 (>%99 saflıkta, Sigma-Aldrich Company), Al_2O_3 (%99,5 saflıkta, Sigma-Aldrich Company) ve ZnTe (%99,99 saflıkta, Alfa Aesar Company) tozları kullanılmıştır. Üretilen ikinci grup olan tellürit esaslı numunelerde ise başlangıç malzemesi olarak, yüksek saflıkta TeO_2 (%99,99 saflıkta, Alfa Aesar Company), WO_3 (%99,8 saflıkta, Alfa Aesar Company, Na_2CO_3 (%99,5 saflıkta, Alfa Aesar Company) ve ZnTe (%99,99 saflıkta, Alfa Aesar Company) tozları kullanılmıştır. Na_2O elde etmek amacıyla kullanılan Na_2CO_3 ve CaO elde etmek amacıyla kullanılan CaCO_3 başlangıç malzemeleri, ergitme sırasında kalsinasyona uğrayarak sırasıyla Na_2O ve CaO'ya dönüşmektedir.

Deneysel çalışmalarda, ZnTe katkıli $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemlerine ait sentezlenen iki ayrı grup numunenin isimlendirilmesi, harmanda bulunan bileşenler esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre, numunelerin isimlendirilmesi bileşenlerin ilk harfleri ve ZnTe katkı mol yüzdeleri yan yana yazılarak yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin bileşimleri ve kullanılan toz miktarları $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ sistemi için Çizelge 3.1'de, $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemi için ise Çizelge 3.3'te verilmiştir.

3.1.1 $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ Sistemine Ait Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere molce %0,5 ZnTe katkılanmış 30 gramlık cam harmanı hassas terazide 0,0001 g hassasiyette tartıldıktan sonra, agat havan içerisinde karıştırılmış ve homojen hale gelen cam harmanı Şekil 3.1'de görüldüğü üzere platin pota içerisinde 1460 °C sıcaklıktaki fırında 8 saat boyunca ergitilmiştir. Daha sonra, fırından alınan platin pota içerisindeki ergiyik önceden ısıtılmış paslanmaz çelik kalıplara dökülerek 2 cm x 2 cm x 3 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Döküm sonrası iç gerilmelerinin giderilmesi amacıyla numuneler, 460 °C sıcaklıktaki fırında 1 saat boyunca tavlansmış ve fırın içerisinde kontrollü olarak oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır. Üretilen ZnTe katkılanmış numuneler, cam yapıda ZnTe kristalitlerinin oluşmasını ve büyümesini sağlamak amacıyla, numunelerin ısıl analiz verilerinden faydalanılarak belirlenen sıcaklıkta 0 ile 120 saat arasında farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Numunelere uygulanan ısıl işlem sıcaklık ve süreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3. 1 SNCA numuneler için ergitme düzeneği

Çizelge 3. 1 SNCA sistemine ait numune bileşimi ve kullanılan toz miktarları

Bileşim (%mol)	Kısaltma	Harman Miktarı	SiO ₂	Na ₂ CO ₃	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	ZnTe
70 SiO ₂ - 18 Na ₂ O - 10 CaO - 2 Al ₂ O ₃ - 0,5 ZnTe	SNCA-0,5ZnTe	30 g	20,7328 g	9,4036 g	4,9329 g	1,0051 g	0,4756 g

Çizelge 3. 2 Molce %0,5 ZnTe katkılanmış SiO₂-Na₂O-CaO-Al₂O₃ sistemine ait numunelere uygulanan ısı işlem koşulları

Kısaltma	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Isıl İşlem Süresi (saat)
SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası	650	-
SNCA-0,5ZnTe-24h	650	24
SNCA-0,5ZnTe-48h	650	48
SNCA-0,5ZnTe-60h	650	60
SNCA-0,5ZnTe-72h	650	72
SNCA-0,5ZnTe-120h	650	120

3.1.2 TeO₂-WO₃-Na₂O Sistemine Ait Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere katkısız ve farklı oranlarda ZnTe katkılanmış 6 gramlık üç ayrı cam harmanı hassas terazide 0,0001 g hassasiyette tartıldıktan sonra, agat havan içerisinde karıştırılmış ve homojen hale gelen cam harmanı Şekil 3.2'de görülen kuvars pota içerisinde 800 °C sıcaklıktaki fırında 20 dakika boyunca ergitilmiştir. Daha sonra fırından alınan kuvars pota içerisindeki ergiyik önceden ısıtılmış paslanmaz çelik kalıplara dökülerek 2 cm x 1,5 cm x 2,5 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Döküm sonrası iç gerilmelerinin giderilmesi amacıyla numuneler, 200 °C sıcaklıktaki etüvde 1 saat boyunca tavlınmış ve fırın içerisinde kontrollü olarak soğumaya bırakılmıştır. Üretilen ZnTe katkılanmış numuneler cam yapıda ZnTe kristalitlerinin oluşmasını ve/veya büyümesini sağlamak amacıyla, numunelerin ısı analiz verilerinden faydalanılarak belirlenen sıcaklıkta ısı işleme tabi tutulmuştur. Molce %0,5 ve %1 ZnTe katkılanmış numunelerin ısı işlem koşulları Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3. 2 TWN numuneler için ergitme düzeneği

Çizelge 3. 3 TWN sistemine ait numune bileşimleri ve kullanılan toz miktarları

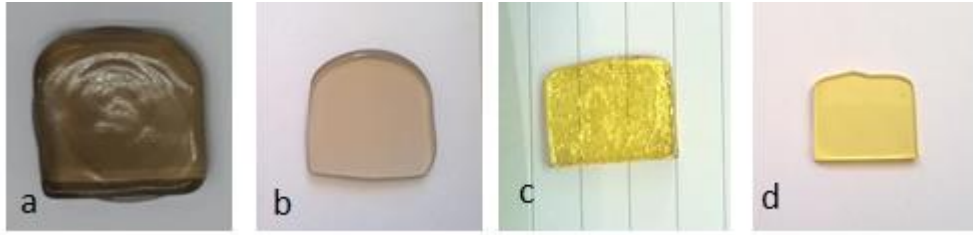
Bileşim (%mol)	Kısaltma	Harman Miktarı	TeO ₂	WO ₃	Na ₂ CO ₃	ZnTe
60 TeO ₂ - 30 WO ₃ - 10 Na ₂ O	TWN-katkısız	6 g	3,4117 g	2,4779 g	0,1888 g	-
60 TeO ₂ - 30 WO ₃ - 10 Na ₂ O - 0,5 ZnTe	TWN-0,5ZnTe	6 g	3,3922 g	2,4638 g	0,1877 g	0,0342 g
60 TeO ₂ - 30 WO ₃ - 10 Na ₂ O - 1 ZnTe	TWN-1ZnTe	6 g	3,3730 g	2,4499 g	0,1867 g	0,0680 g

Çizelge 3. 4 Molce %0,5 ve %1 ZnTe katkılandırılmış TeO₂-WO₃-Na₂O sistemine ait numunelere uygulanan ısı işlem koşulları

Kısaltma	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Isıl İşlem Süresi (saat)
TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası	-	-
TWN-0,5ZnTe-24h	440	24
TWN-0,5ZnTe-48h	440	48
TWN-1ZnTe-döküm sonrası	-	-
TWN-1ZnTe-24h	550	24

3.2 Numunelerin Yüzeylerinin Hazırlanması

Optik ölçümler öncesi numunelerin uygun kalınlık ve optik yüzey kalitesine getirilmesi büyük önem taşımaktadır. Döküm ve ısıl işlem aşamalarından sonra, Metkon marka zımpara/parlatma cihazı kullanılarak, numuneler öncelikle 120, 320, 600, 1200 ve 2500 numaralı SiC zımparalar ile zımparalanmış ve numune kalınlıkları 1,5 mm'e indirilmiş, ardından 1 mikronluk elmas pasta ve keçe ile yüzeyleri parlatılmıştır. Şekil 3.3'te silika ve tellürit esaslı cam numunelerin yüzey hazırlama işlemlerinden önceki ve sonraki hali verilmiştir.



Şekil 3. 3 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesi yüzey hazırlama işlemlerinden a) önce b) sonra, TWN-katkısız numunesi yüzey hazırlama işlemlerinden c) önce d) sonra

3.3 Numunelerin Optik İncelenmesi

Döküm sonrası elde edilen ve ısıl işleme tabi tutulmuş silika ve tellürit esaslı cam numunelerin optik karakterizasyonları yüzey hazırlama işlemleri sonrası Şekil 3.4'te görülen PG T80+ UV-Vis Spektrofotometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optik incelemeler kapsamında, numunelerin geçirgenlik ve soğurma değerleri, oda sıcaklığında, 190 – 1100 nm dalga boyları arasında ölçülmüştür.



Şekil 3. 4 PG T80+ UV-Vis Spektrofotometre cihazı

Optik analizler sonucunda elde edilen geçirgenlik ve soğurma değerleri ile numunelerin absorpsiyon sınırı değerleri belirlenmiştir. Absorpsiyon sınırının foton enerjisine bağlı olarak değişimi, malzemelerin optik bant aralığı enerjilerini dolayısıyla buna yakın bir değere sahip olan elektriksel bant aralığı enerjilerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Malzemelerin optik bant aralığı enerjilerini hesaplamak için kullanılan absorpsiyon katsayısı, eşitlik (3.1)'de verildiği üzere numunenin kalınlığına bağlı olarak malzemenin farklı dalga boylarındaki soğurma değerlerinden hesaplanmaktadır ve absorpsiyon katsayısına bağlı olarak optik bant aralığı enerjisinin hesaplanmasında kullanılan bağıntı (3.2)'de verilmiştir [72].

$$\alpha = \frac{2A}{d} \quad (3.1)$$

$$\alpha(\omega) = \frac{B(\hbar\omega - E_{opt})^p}{\hbar\omega} \quad (3.2)$$

Denklemleri oluşturan bileşenlerden p absorpsiyonu sağlayan elektron geçişinin türüne bağlı olarak 1/2, 3/2, 2 veya 3 değerlerini alabilen bir katsayıdır. Bu katsayı izin verilen direkt geçişler için 1/2, yasak direkt geçişler için 3/2, izin verilen direkt olmayan geçişler için 2 ve yasak direkt olmayan geçişler için 3 değerini alır. Tauc bağıntısına göre amorf yapıdaki malzemelerde direkt olmayan geçişler geçerlidir ve bu nedenle p değeri 2 olarak alınmaktadır. Sonuç olarak camların optik bant aralığı enerjileri, Tauc denkleminin uygun olarak çizilen $(\alpha\hbar\omega)^{1/2} - \hbar\omega$ grafiğinin lineer olduğu bölgeden x eksenine çekilen teğet ile bulunmaktadır [72], [73], [74].

Cam nanokompozitlerin Tauc denklemleri kullanılarak hesaplanan optik bant aralığı enerjileri, ayrıca Etkin Kütle Yaklaşımı (EMA) yöntemi ile cam matrisler içerisinde büyütülen ZnTe kristalitlerinin tane boyutlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Etkin Kütle Yaklaşımı, kuantum noktaların tane boyutu tayini için kullanılan bir yaklaşımdır. Boyuta bağlı olarak malzemelerin bant aralığı enerjisindeki değişimden Etkin Kütle Yaklaşımı ile tane boyutu hesaplamak için kullanılan bağıntı (3.3)'te verilmiştir [75].

$$E_{conf} = E_g + \frac{\hbar^2\pi^2}{2\mu R^2} - 1,8 \frac{e^2}{\epsilon R} \quad (3.3)$$

Denklemleri oluşturan bileşenlerden E_{conf} kuantum sınırlama özelliğinin gözlemlendiği durumdaki bant aralığı enerjisini, E_g bulk haldeki yarı iletken bant aralığı enerjisini, \hbar indirgenmiş Plank sabitini, μ elektron-boşluk indirgenmiş etkin kütlelerini, R tanecik

yarıçapını, e elektron yükünü ve ϵ dielektrik sabitini belirtmektedir. Denklemin üçüncü terimi elektron ile boşluk arasında gerçekleşen Coulomb etkileşimini temsil etmektedir ve çok küçük bir değere sahip olması nedeniyle hesaplamalarda ihmal edilebilmektedir [22], [42], [68].

3.4 Numunelerin Isıl İncelenmesi

Döküm sonrası ve ısıtılma tabii tutulmuş numunelerin cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla diferansiyel termal analiz (DTA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) teknikleri kullanılmıştır.

3.4.1 $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ Sistemine Ait Numunelerin Isıl İncelenmesi

Deneysel çalışmalar sırasında üretilen ilk grup numuneler olan silika esaslı camların ısıtılma karakterizasyonu, Şekil 3.5'te görülen PerkinElmer™ Diamond TG/DTA cihazı kullanılarak, 25 ± 1 mg'lık toz haldeki numunelerin platin krozeler içerisinde, 100 ml/dakika argon atmosferi altında, 10 °C/dakika ısıtma hızı ile oda sıcaklığından 1000 °C'ye ısıtılması ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan ısıtılma analizler sonucunda, camların karakteristik sıcaklıkları olan cam geçiş (T_g), ekzotermik pik onset (T_c) ve ekzotermik pik (T_p) sıcaklıkları tespit edilmiş, elde edilen sıcaklık değerleri ışığında ısıtılma sıcaklıkları belirlenmiştir.



Şekil 3. 5 Perkin Elmer™ Diamond TG/DTA cihazı

3.4.2 TeO₂-WO₃-Na₂O Sistemine Ait Numunelerin Isıl İncelenmesi

Üretilen ikinci grup numunler olan tellürit esaslı camların ısıl karakterizasyonu, Şekil 3.6'da görülen Netzsch 204 F1 diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 25±1 mg'lık toz haldeki numuneler, alüminyum potalar içerisinde, 25 ml/dakika argon atmosferi altında, 10 °C/dakika ısıtma hızı ile oda sıcaklığından 590 °C'ye ısıtılmıştır. Yapılan ısıl analizler sonucunda, T_g , T_c ve T_p sıcaklıkları belirlenmiş; elde edilen veriler ışığında ısıl işlem sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 3. 6 Netzsch 204 F1 DSC cihazı

3.5 Numunelerin Faz ve Mikroyapı İncelemesi

Döküm sonrası elde edilen ve ısıl işleme tabi tutulmuş silika ve tellürit esaslı cam numunelerin faz analizleri Philips X'pert Pro cihazı ile X-ışınları difraksiyonu (XRD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz, Cu-K_α radyasyonu kullanılarak 10° – 90° aralığında, 1,2 °/dk tarama hızıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan XRD incelemeleri sonucu elde edilen paternler pik pozisyonları ve şiddetlerine göre ICDD (The International Centre for Diffraction Data) veri dosyaları ile karşılaştırılarak faz analizleri gerçekleştirilmiştir.

Cam yapı içerisinde kristallenen ve XRD incelemeleri ile faz analizleri gerçekleştirilen fazlara ait mikroyapı incelemeleri yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskopisi (HRSEM) çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, altın kaplı numuneler Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı bünyesinde bulunan Şekil 3.7'de görülen TESCAN MAIA3 XMU cihazı ile 2 ve 5 kV'de incelenmiştir.



Şekil 3. 7 TESCAN MAIA3 XMU cihazı

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 SiO₂-Na₂O-CaO-Al₂O₃ Sistemi

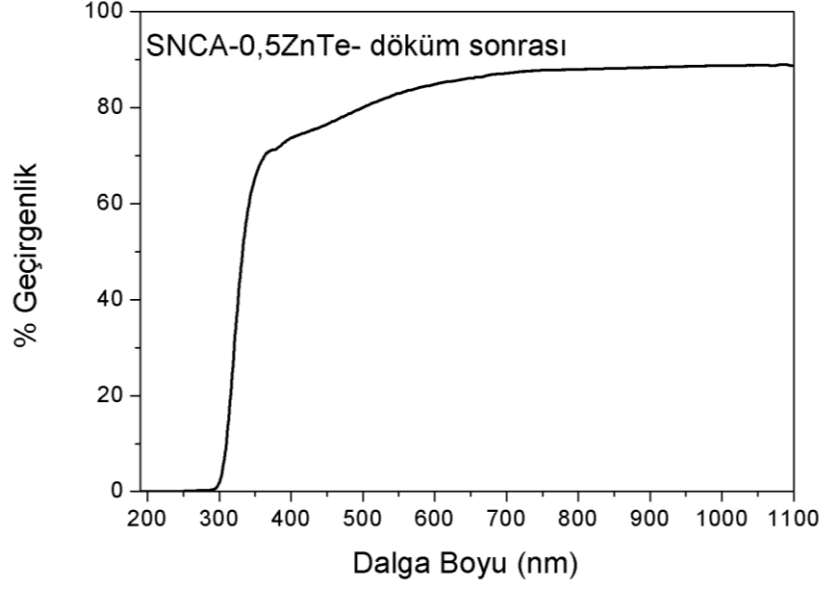
4.1.1 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası Numunesi

Molce %70 SiO₂, %18 Na₂O, %10 CaO ve %2 Al₂O₃ içeren cam harmanının, 1460 °C sıcaklıktaki fırında 8 saat bekletildikten sonra önceden ısıtılmış paslanmaz çelik kalıba dökülmesi ve 460 °C'de gerilim giderme tavi uygulanması sonucu Şekil 4.1'de makro fotoğrafı verilen şeffaf ve renksiz SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesi elde edilmiştir.

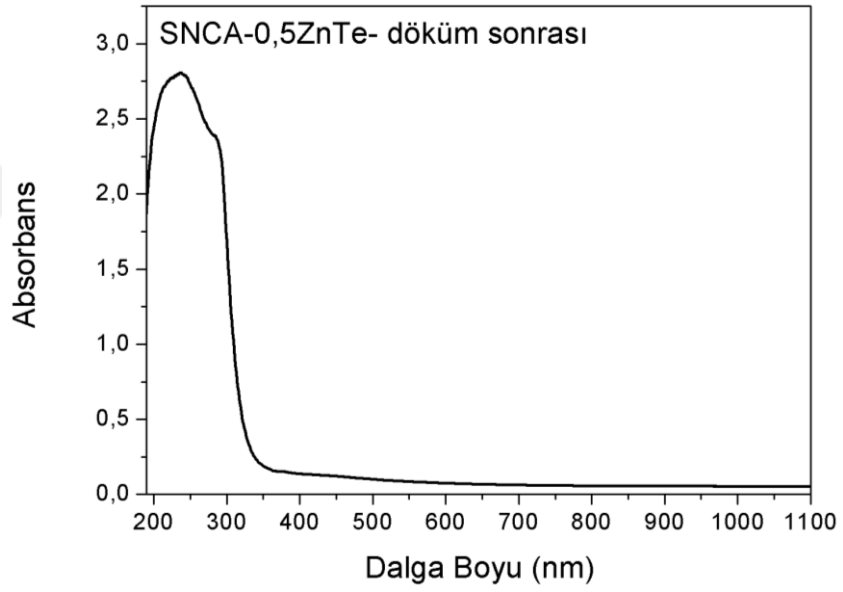


Şekil 4. 1 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin makro fotoğrafı

SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin geçirgenlik ve soğurma özelliklerinin belirlenmesi için uygulanan optik analiz sonuçları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Geçirgenlik analiz sonuçlarına göre, numunenin görünür bölge geçirgenlik değerinin yaklaşık %85 olduğu, soğurma sınırı değerinin ise 292 nm'de olduğu saptanmıştır. Şekil 4.3'te görülen soğurma spektrumuna göre, numunenin mor ötesi bölgede kuvvetli bir soğurma piki olduğu, görünür bölgede ise herhangi bir soğurma bandının bulunmadığı belirlenmiştir.

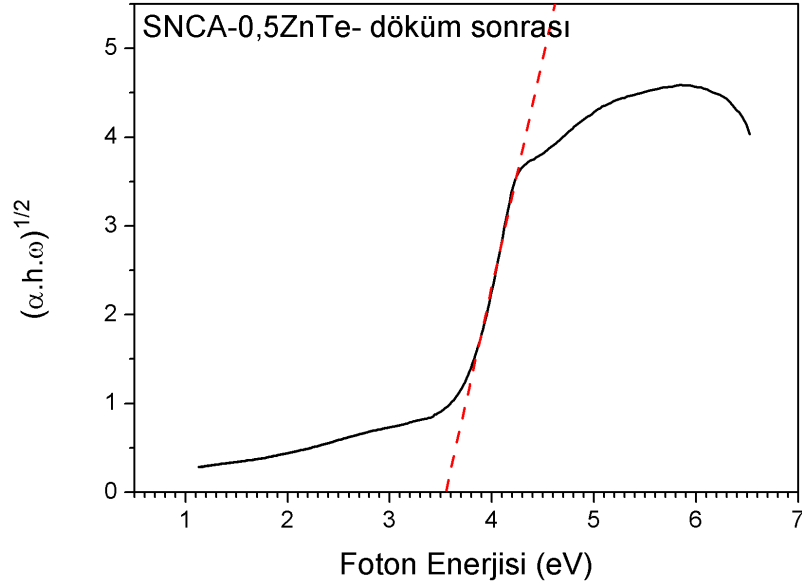


Şekil 4. 2 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait geçirgenlik analizi



Şekil 4. 3 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait soğurma analizi

Yapılan soğurma ölçümleri sonucunda eşitlik (3.2) kullanılarak Şekil 4.4'te görülen Tauc eğrisi çizilmiştir. Grafiğin lineer bölgesinden çizilen teğetin x eksenini kestiği nokta belirlenerek SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin optik bant aralığı enerjisi 3,55 eV olarak hesaplanmıştır.



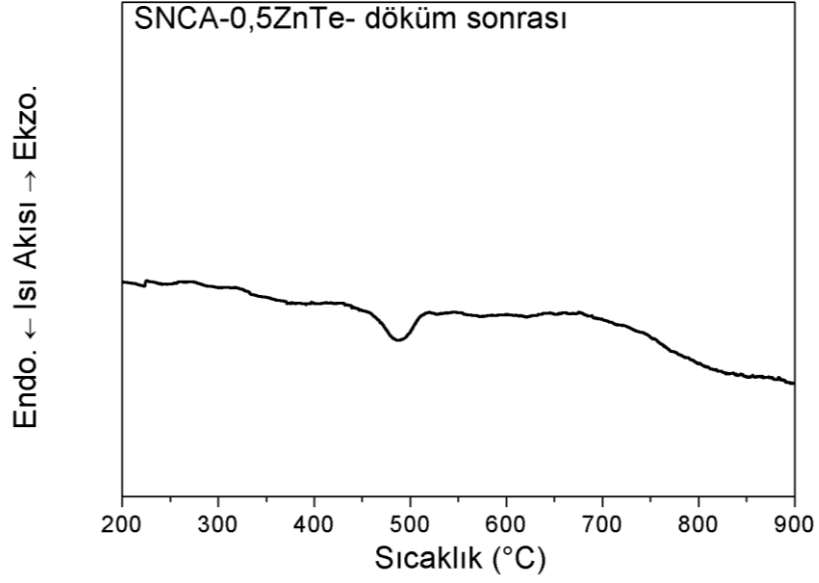
Şekil 4. 4 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait Tauc eğrisi

Etkin Kütle Yaklaşımı kullanılarak eşitlik (3.3)'e göre ZnTe kuantum noktalarının tane boyutu 1,705 nm olarak hesaplanmıştır. SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine yapılan optik ölçümlerin sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait optik ölçüm sonuçları

Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası	% 85	292 nm	3,55 eV	1,705 nm

SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin ısı karakterizasyonu DTA analizi ile gerçekleştirilmiş, ilgili grafik Şekil 4.5'te verilmiştir. Analiz sonucunda numuneye ait cam geçiş sıcaklığı 459 °C olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 5 SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait DTA termogramı

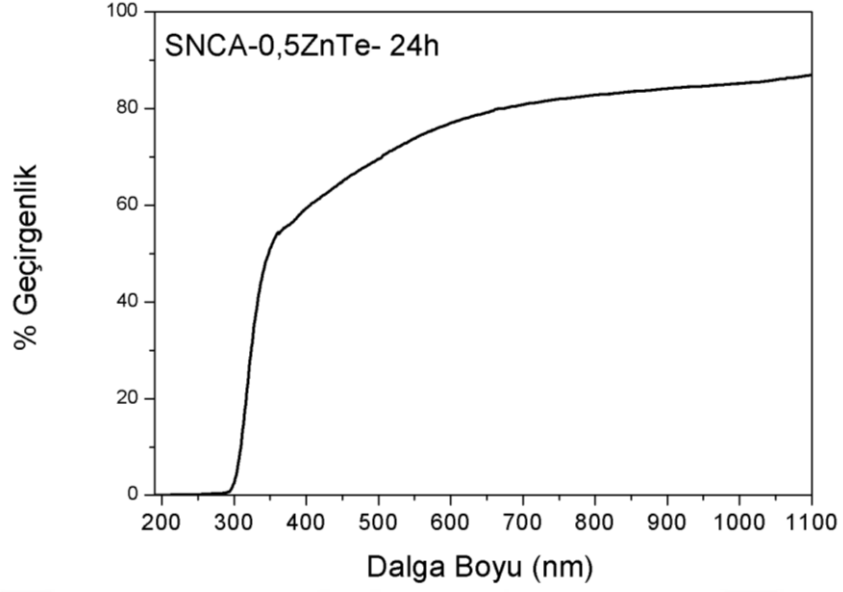
4.1.2 SNCA-0,5ZnTe-24h Numunesi

SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin, ZnTe kristalitlerinin oluşumu sağlamak amacıyla cam geçiş sıcaklığının üzerindeki 650 °C sıcaklıkta 24 saat ısıtılmasına tabi tutulması ile üretilen SNCA-0,5ZnTe-24h numunesi Şekil 4.6'da görüldüğü üzere şeffaf ve bej renktedir.



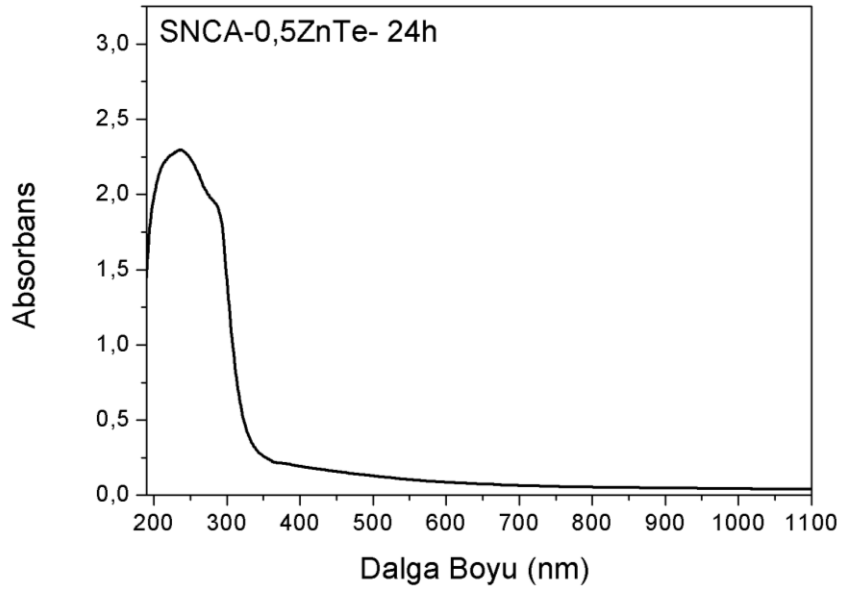
Şekil 4. 6 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesinin makro fotoğrafı

Yapılan optik ölçümler sonucunda, Şekil 4.7'de görüleceği üzere, SNCA-0,5ZnTe-24h numunesinin görünür bölge geçirgenliğinin yaklaşık %80 olduğu ve soğurma sınırının ise 294 nm'de bulunduğu belirlenmiştir.



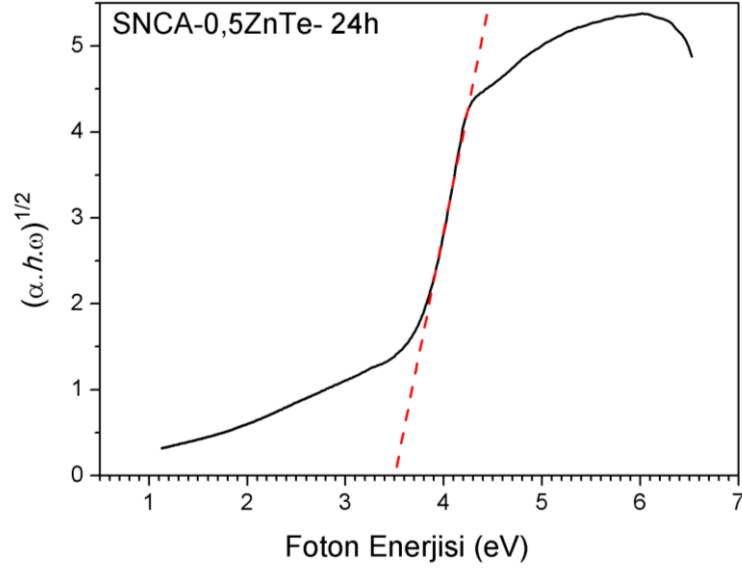
Şekil 4. 7 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait geçirgenlik analizi

SNCA-0,5ZnTe döküm sonrası numunesine benzer şekilde, 24 saat ısıtılma tabii tutulmuş numunenin de görünür bölgede herhangi bir soğurma bandının bulunmadığı Şekil 4.8’de sonucu verilen soğurma spektrumu ile belirlenmiştir.



Şekil 4. 8 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait soğurma analizi

SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait soğurma değerleri sonucunda çizilen Tauc eğrisi Şekil 4.9’da verilmiştir. Elde edilen grafik sonucunda numunenin optik bant aralığı enerjisi 3,5 eV olarak belirlenmiştir. ZnTe kuantum noktaların tane boyutu eşitlik (3.3) kullanılarak 1,739 nm olarak elde edilmiştir.



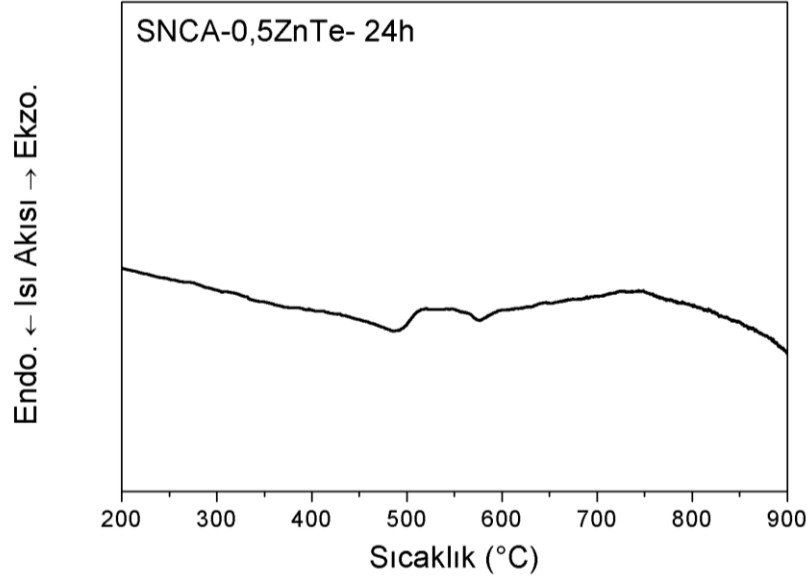
Şekil 4. 9 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait Tauc eğrisi

SNCA-0,5ZnTe-24h numunesinin optik ölçüm sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait optik ölçüm sonuçları

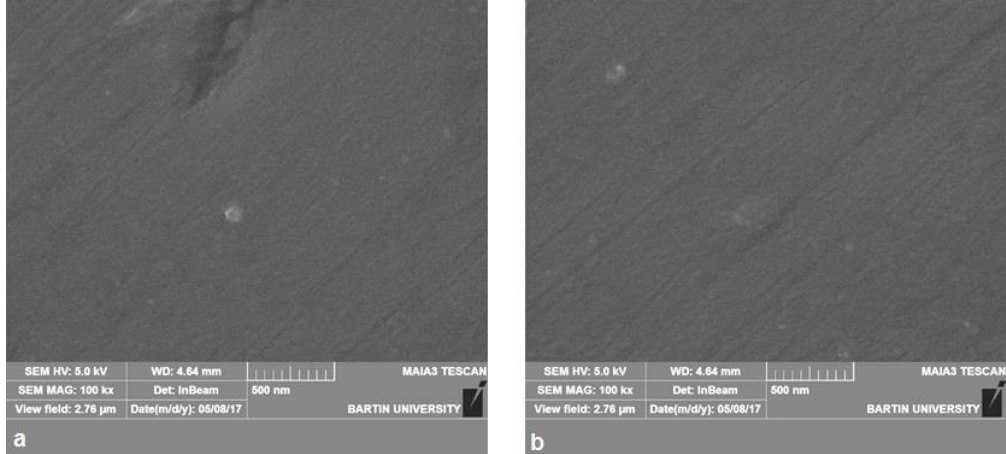
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
SNCA-0,5ZnTe-24h	% 80	294 nm	3,5 eV	1,739 nm

650 °C’de 24 saat ısıtım uygulanmış SNCA-0,5ZnTe-24h numunesinin DTA termogramı Şekil 4.10’da verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda herhangi bir ekzotermik reaksiyon gözlenmemiş ve numuneye ait cam geçiş sıcaklığı 463 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. 10 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait DTA termogramı

Şekil 4.11’de SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait 5 kV hızlandırma voltajı ile 100 kx büyütmede çekilmiş SEM görüntüleri verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen görüntülerde amorf matris içerisinde kristallenen ve boyutları 20 ila 25 nm arasında değişen ZnTe kristalitleri tespit edilmiştir. Analiz sırasında farklı büyütmelerde gerçekleştirilen incelemeler sonucunda ZnTe kristalitlerinin yapıda homojen olarak dağılmış kümeler şeklinde bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 11 SNCA-0,5ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri

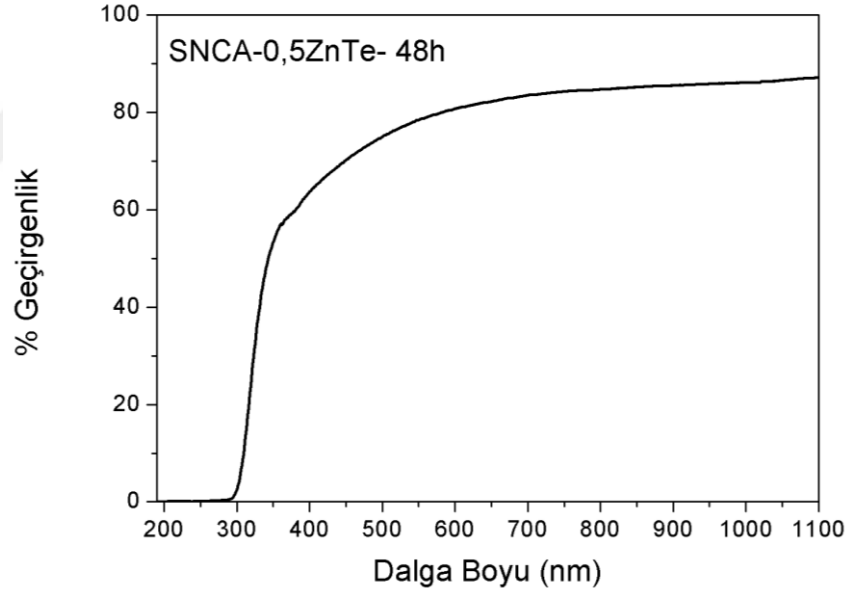
4.1.3 SNCA-0,5ZnTe-48h Numunesi

650 °C'de 48 saat boyunca ısıtılma tabi tutulmuş SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait makro fotoğraf Şekil 4.12'de görülmektedir. Numune şeffaf ve bej renkte olarak elde edilmiştir.



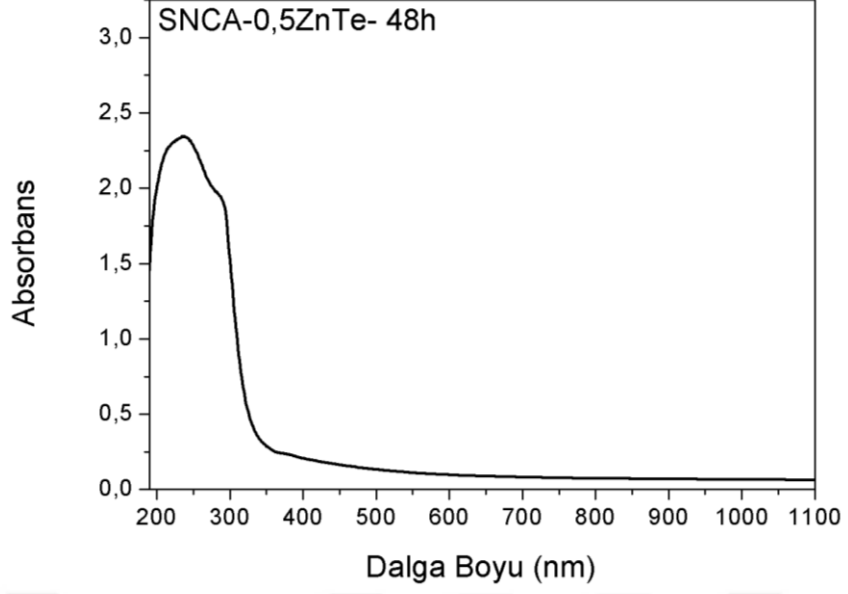
Şekil 4. 12 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesinin makro fotoğrafı

SNCA-0,5ZnTe-48h numunesinin yapılan optik ölçümler sonucunda görünür bölgedeki geçirgenliğinin yaklaşık %77 olduğu ve soğurma sınırının 295 nm'de bulunduğu belirlenmiş ve ilgili sonuç Şekil 4.13'te verilmiştir.



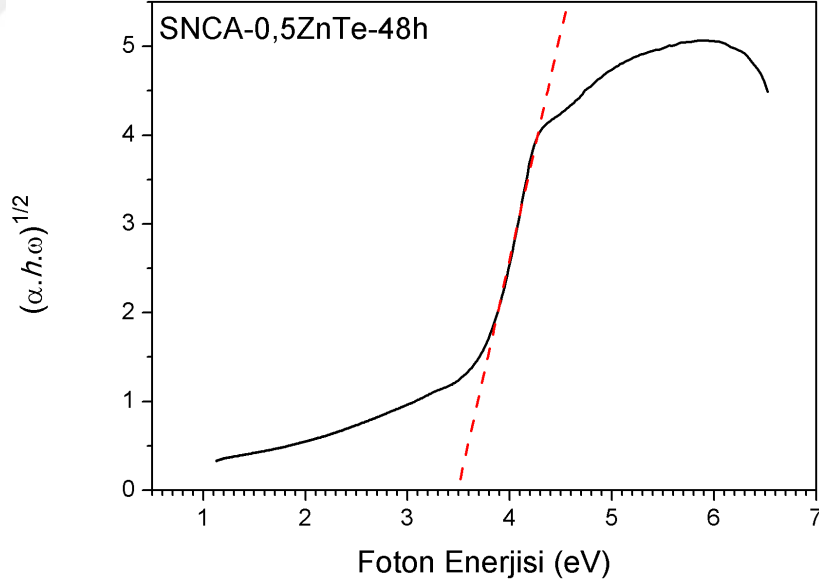
Şekil 4. 13 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait geçirgenlik analizi

Yapılan soğurma ölçümleri sonucunda Şekil 4.14'te görüleceği üzere görünür bölgede herhangi bir soğurma bandı gözlenmemiştir.



Şekil 4. 14 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait soğurma analizi

Çizilen Tauc eğrisi ile SNCA-0,5ZnTe-48h numunesinin optik bant aralığı enerji değeri Şekil 4.15'te görüldüğü üzere 3,48 eV olarak belirlenmiştir. Matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları Etkin Kütle Yaklaşımı kullanılarak 1,754 nm olarak belirlenmiştir.



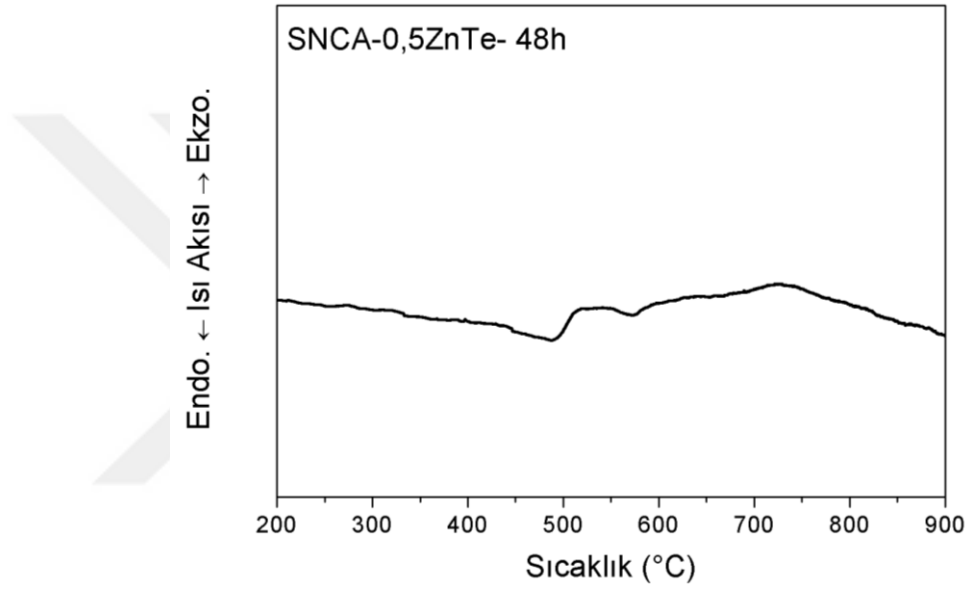
Şekil 4. 15 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait Tauc eğrisi

SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait optik ölçüm sonuçları Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. 3 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait optik ölçüm sonuçları

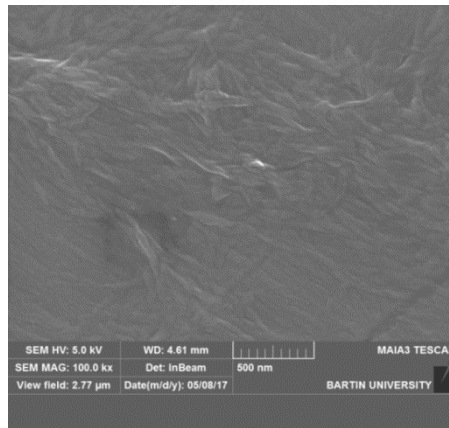
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
SNCA-0,5ZnTe-48h	% 77	295 nm	3,48 eV	1,754 nm

650 °C'de 48 saat boyunca tavlanan SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine yapılan ısıl analiz sonucunda, herhangi bir ekzotermik reaksiyona rastlanmamış ve numuneye ait cam geçiş sıcaklığı 465 °C olarak tespit edilmiştir. İlgili sonuç Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4. 16 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait DTA termogramı

SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait SEM görüntüsü Şekil 4.17'de verilmiştir. Matris genelinde çok az sayıda ZnTe kristaliti görüntülenebilmiş, boyutlarının 50 nm civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 17 SNCA-0,5ZnTe-48h numunesine ait SEM görüntüsü

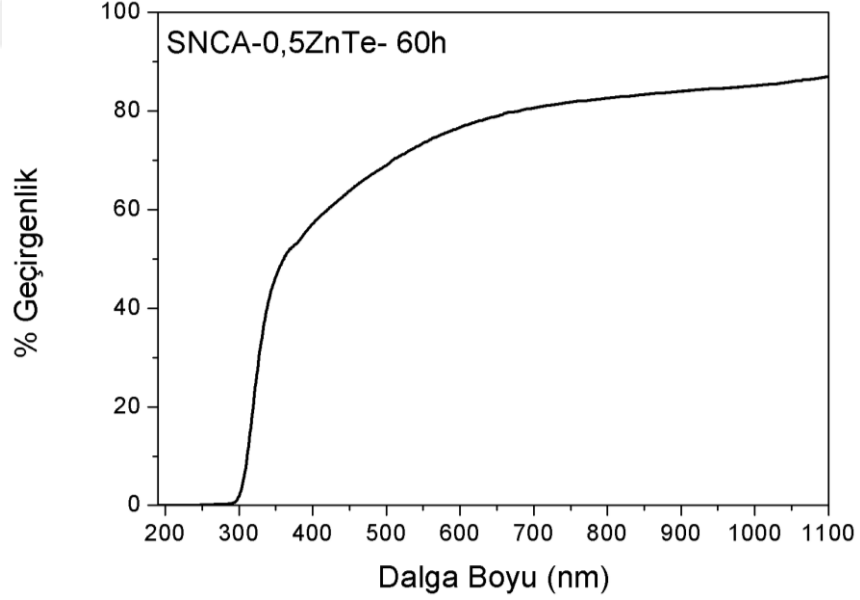
4.1.4 SNCA-0,5ZnTe-60h Numunesi

SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin 650 °C'de 60 saat ısıtılma tabii tutulması sonucu Şekil 4.18'de görülen şeffaf ve bej renkte SNCA-0,5ZnTe-60h numunesi sentezlenmiştir.

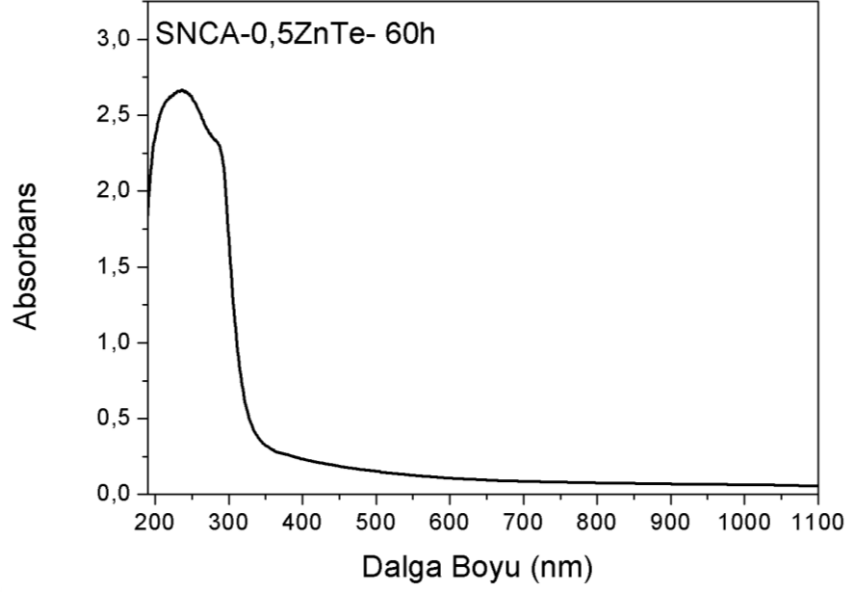


Şekil 4. 18 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesinin makro fotoğrafı

SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait geçirgenlik ve soğurma davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan optik ölçümlerde numunenin görünür bölgedeki geçirgenliğinin Şekil 4.19'da görüleceği üzere yaklaşık %76, soğurma sınırının ise 297 nm olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.20'de sonucu verilen soğurma ölçümleri ile numunenin görünür bölgede herhangi bir soğurma bandının bulunmadığı tespit edilmiştir.

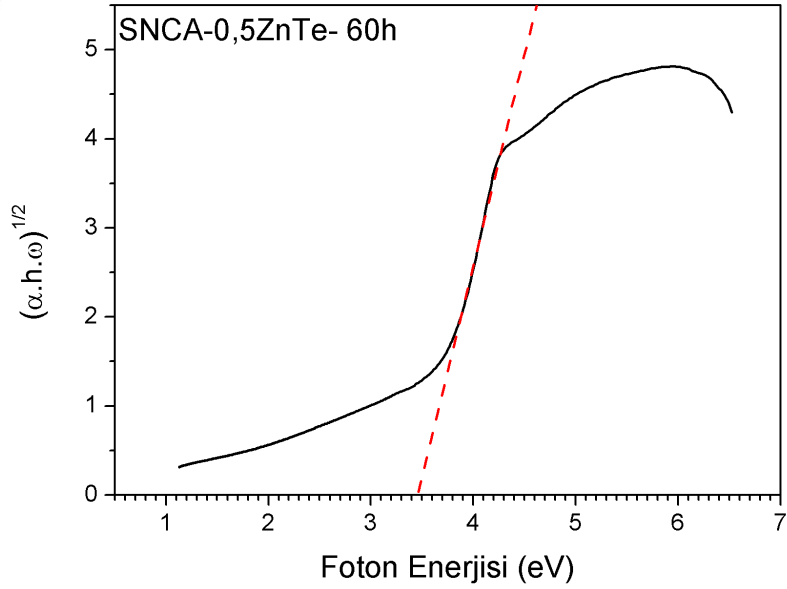


Şekil 4. 19 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait geçirgenlik analizi



Şekil 4. 20 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait soğurma analizi

SNCA-0,5ZnTe-60h numunesinin soğurma değerleri sonucu çizilen Tauc eğrisi yardımıyla hesaplanan optik bant aralığı enerjisi değeri Şekil 4.21’de görüleceği üzere 3,45 eV olarak belirlenmiştir. Bağıntı (3.3) kullanılarak matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları 1,776 nm olarak belirlenmiştir.



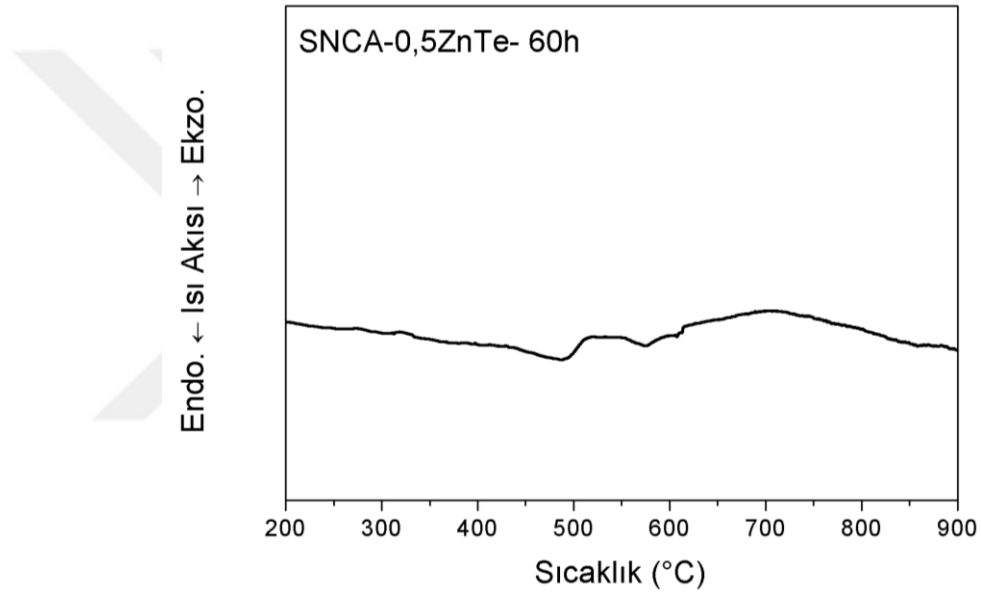
Şekil 4. 21 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait Tauc eğrisi

Yapılan optik analizler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4. 4 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait optik ölçüm sonuçları

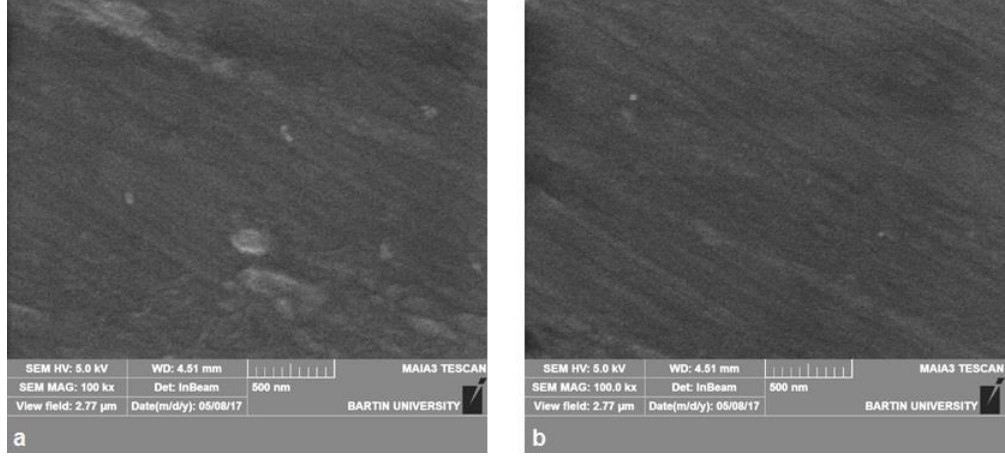
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
SNCA-0,5ZnTe-60h	% 76	297 nm	3,45 eV	1,776 nm

Yapıda bulunan ZnTe kristalitlerinin büyütülmesi amacıyla 650 °C'de 60 saat boyunca tavlanan SNCA-0,5ZnTe-60h numunesinin DTA analiz sonucu Şekil 4.22'de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda herhangi bir ekzotermik reaksiyona rastlanmamış ve numuneye ait cam geçiş sıcaklığı 469 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4. 22 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait DTA termogramı

Şekil 4.23a ve b'de 100 kx büyütmede 5 kV ile çekilmiş SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Analiz sonucunda amorf matris içerisinde 60 saatlik ısıtım işlemiyle kristallendirilen ZnTe kristalitlerinin boyutlarının 45 ila 65 nm aralığında olduğu ve kristalitlerin matris içerisinde kümelenerek nano boyutlu kümeler oluşturduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 23 SNCA-0,5ZnTe-60h numunesine ait SEM görüntüleri

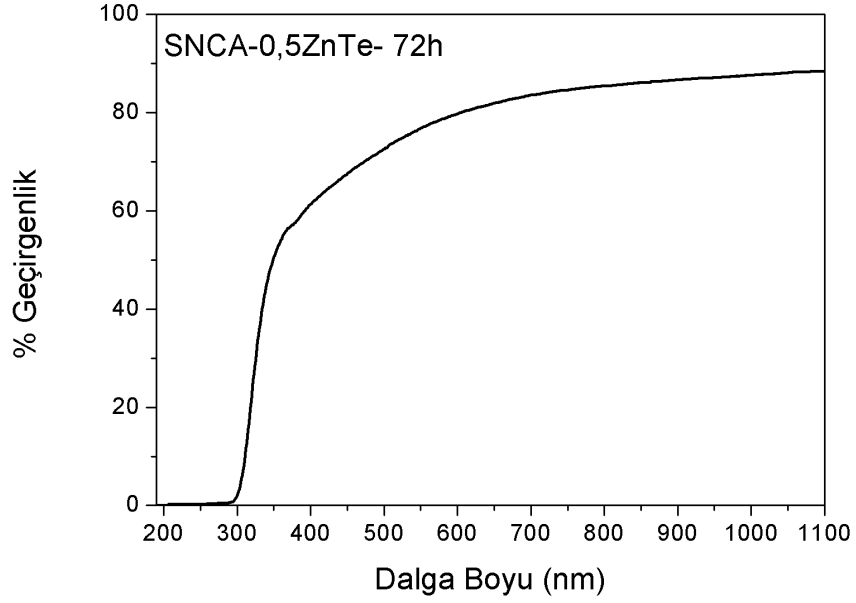
4.1.5 SNCA-0,5ZnTe-72h Numunesi

SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin 650°C'de 72 saat ısıtılmasına tabi tutulması sonucu üretilen SNCA-0,5ZnTe-72h numunesi Şekil 4.24'te görüldüğü üzere şeffaf ve bej renkte elde edilmiştir.



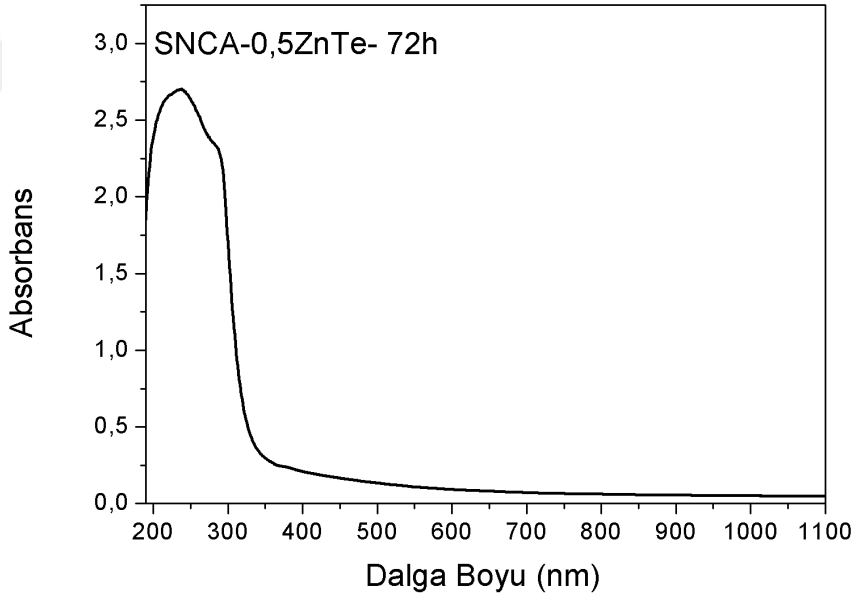
Şekil 4. 24 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesinin makro fotoğrafı

Yapılan optik ölçümler sonucunda SNCA-0,5ZnTe-72h numunesinin görünür bölgedeki geçirgenliğinin Şekil 4.25'te görüleceği üzere yaklaşık %75 olduğu ve soğurma sınırının 298 nm'de bulunduğu belirlenmiştir.



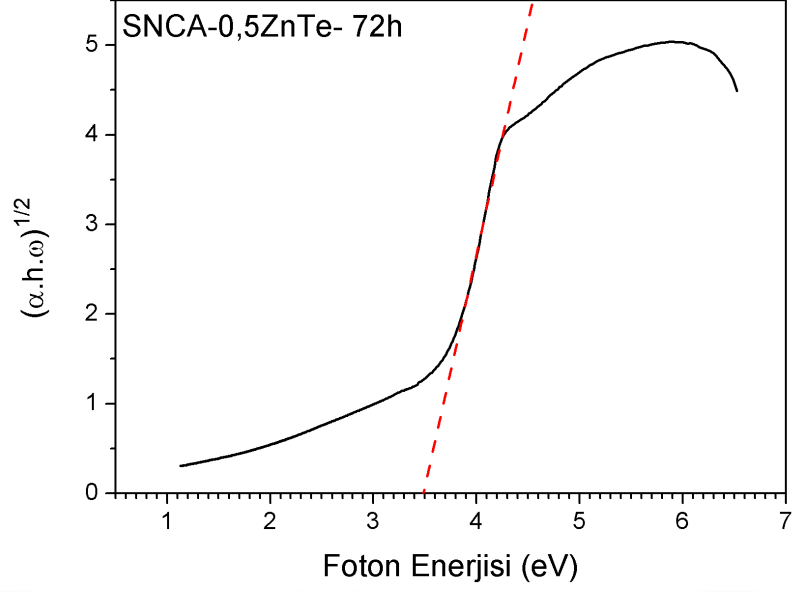
Şekil 4. 25 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait geçirgenlik analizi

SNCA-0,5ZnTe-72h numunesinin soğurma davranışı incelendiğinde ise Şekil 4.26'da görüleceği üzere görünür bölgede herhangi bir soğurma bandının bulunmadığı görülmüştür.



Şekil 4. 26 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait soğurma analizi

Soğurma ölçümleri sonucunda elde edilen veriler ile çizilen Tauc eğrisi yardımıyla, SNCA-0,5ZnTe-72h numunesinin optik bant aralığı enerjisi 3,43 eV olarak belirlenmiş, ilgili sonuç Şekil 4.27'de verilmiştir. Matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları Etkin Kütle Yaklaşımı ile 1,791 nm olarak elde edilmiştir.



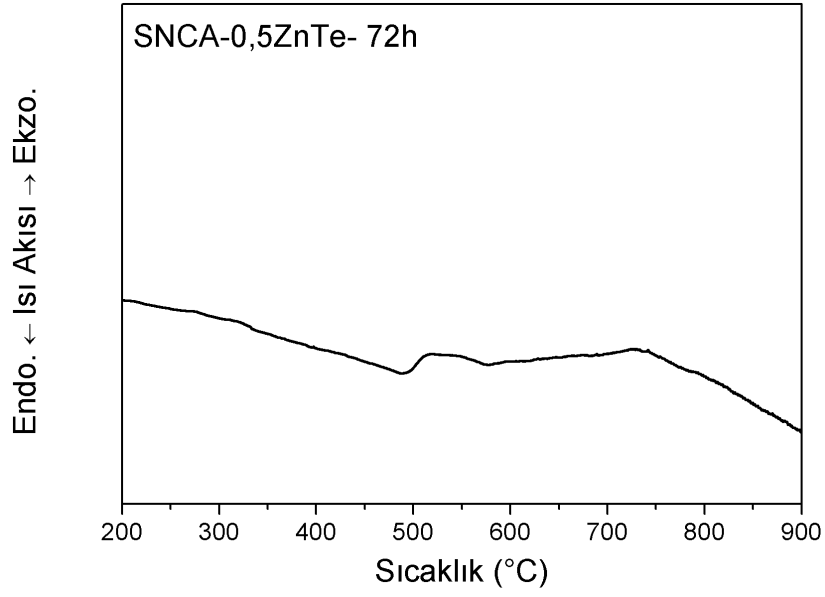
Şekil 4. 27 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait Tauc eğrisi

Yapılan optik analizlerin sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4. 5 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait optik ölçüm sonuçları

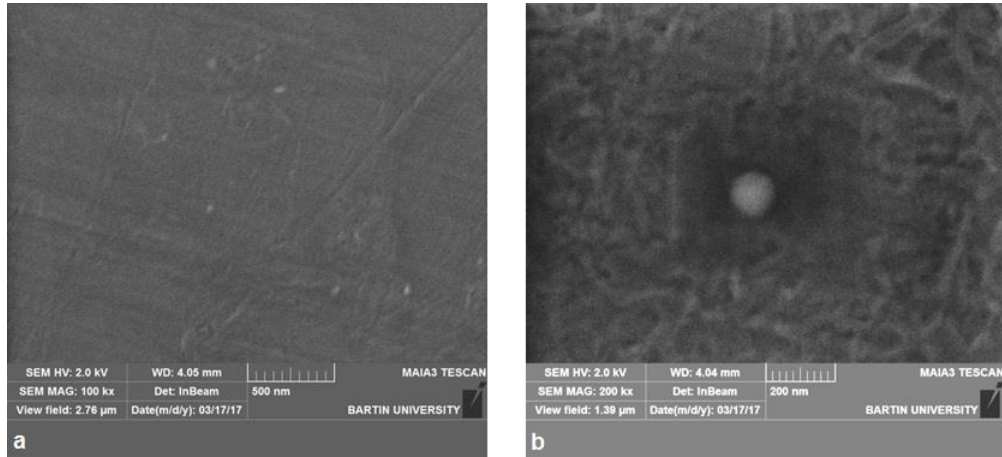
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
SNCA-0,5ZnTe-72h	% 75	298 nm	3,43 eV	1,791 nm

SNCA-0,5ZnTe-72h numunesinin ısı inceleme sonuçları, 471 °C'de cam geçiş reaksiyonu tespit edilmiş, Şekil 4.28'de verilen termogramdan da görüleceği gibi kristalizasyon reaksiyonuna ait herhangi bir ekzotermik pike rastlanmamıştır.



Şekil 4. 28 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait DTA termogramı

Numunenin mikroyapısal incelemelerine (2 kV) ait SEM görüntüleri Şekil 4.29a'da 100kx büyütme ve Şekil 4.29b'de 200 kx büyütme için verilmiştir. İncelemeler sonucunda amorf matris içerisinde boyutları 35 ila 100 nm arasında değişen ZnTe kristalitleri tespit edilmiştir. İncelemeler sırasında kristalitlerin kümelenmiş halde yapıda homojen dağılım gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4. 29 SNCA-0,5ZnTe-72h numunesine ait SEM görüntüleri a) 100kx, b) 200kx

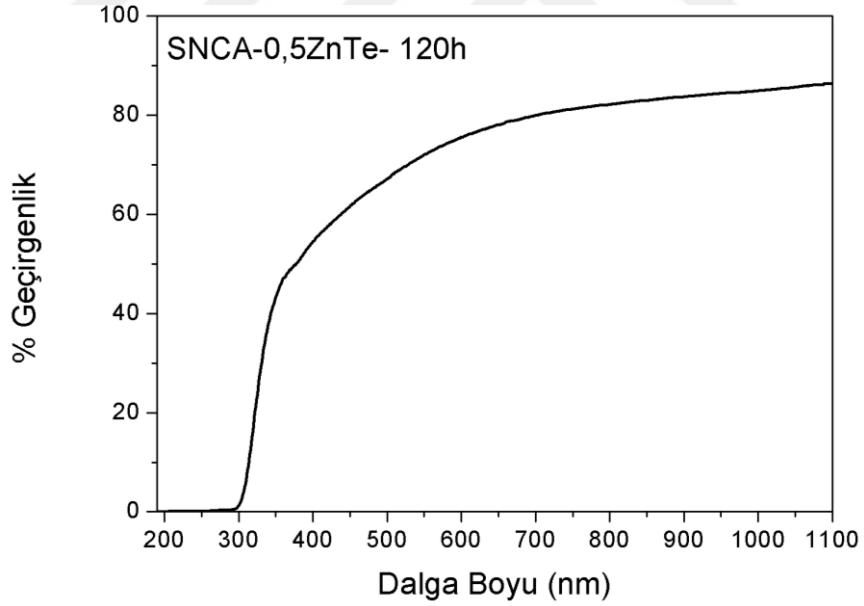
4.1.6 SNCA-0,5ZnTe-120h Numunesi

Isıl işlem ile yapıda ZnTe kristalitlerinin oluşumunu sağlamak amacıyla SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin 650 °C'de 120 saat boyunca tavlama ile sentezlenen SNCA-0,5ZnTe-120h numunesi Şekil 4.30'da görüldüğü üzere şeffaf ve bej renktedir.



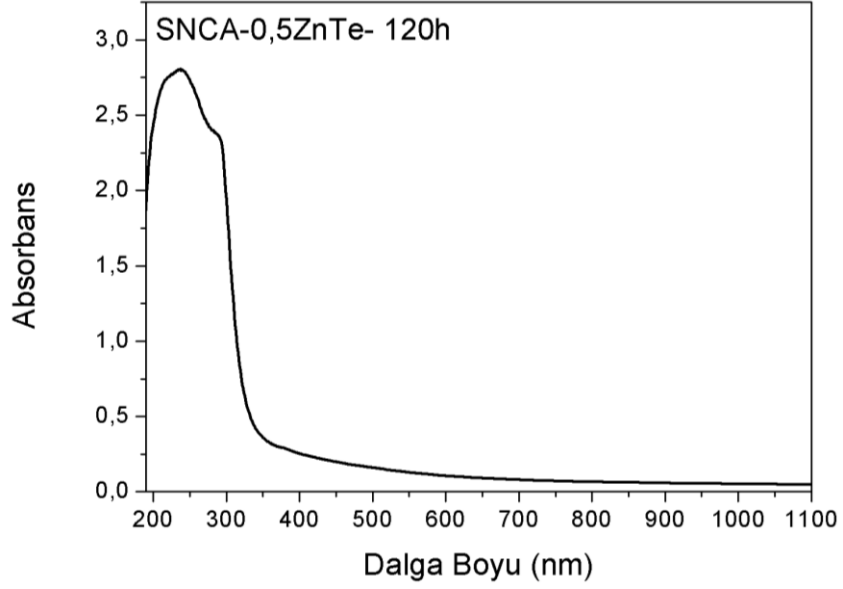
Şekil 4. 30 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesinin makro fotoğrafı

Geçirgenlik ve soğurma davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan optik ölçümler sonucunda, Şekil 4.31'de görüleceği üzere SNCA-0,5ZnTe-120h numunesinin görünür bölge geçirgenliğinin yaklaşık %70 olduğu ve soğurma sınırının 300 nm'de bulunduğu belirlenmiştir.



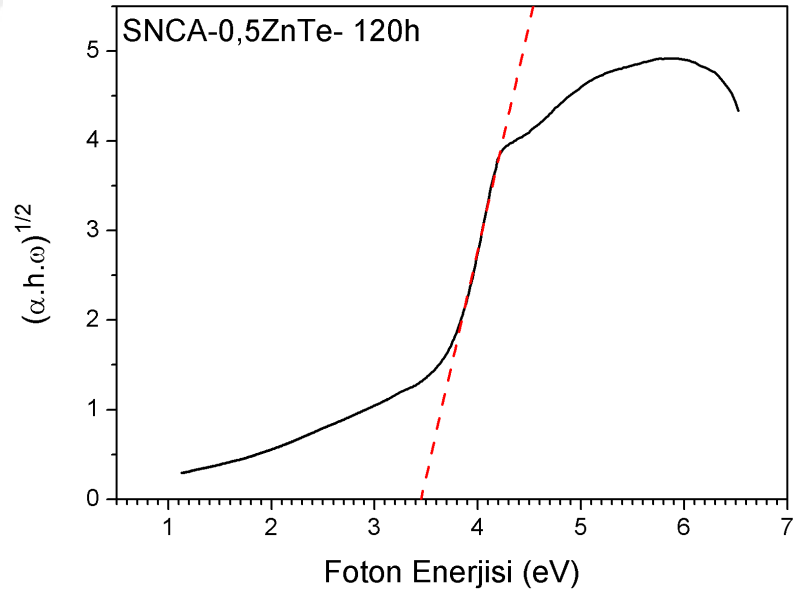
Şekil 4. 31 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait geçirgenlik analizi

Buna ek olarak görünür bölgede herhangi bir soğurma bandının bulunmadığı belirlenmiştir. İlgili sonuç Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4. 32 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait soğurma analizi

Numunenin optik bant aralığı enerjisini hesaplamak amacıyla, soğurma ölçümü sonucu elde edilen değerler ile Şekil 4.33'te verilen Tauc eğrisi çizilmiştir. Numunenin optik bant aralığı enerjisi 3,4 eV olarak belirlenmiştir. Bağıntı (3.3)'e göre yapıda büyütülen ZnTe kristalitlerinin tane boyutu 1,814 nm olarak belirlenmiştir.



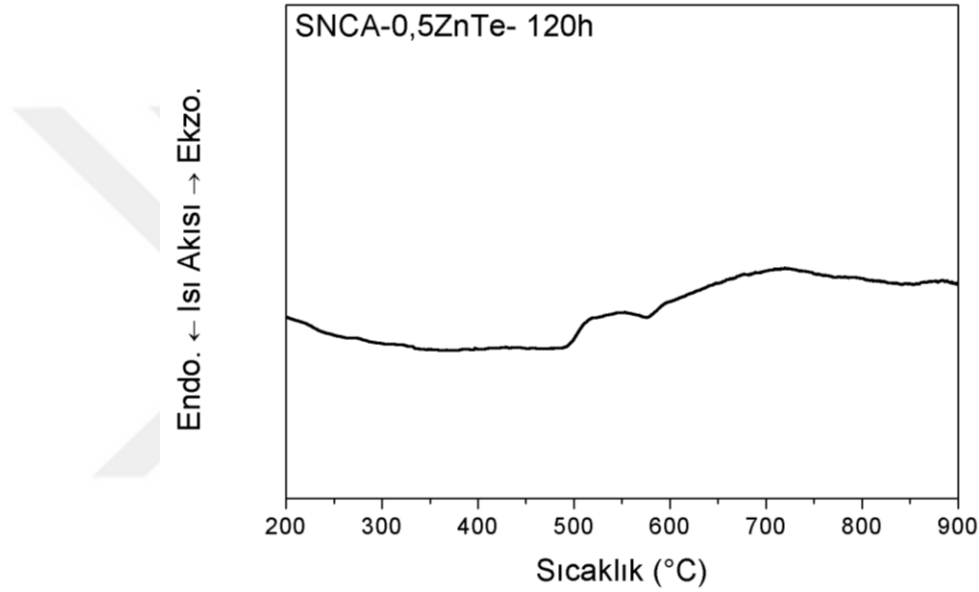
Şekil 4. 33 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait Tauc eğrisi

Numunenin optik karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları Çizelge 4.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 4. 6 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait optik ölçüm sonuçları

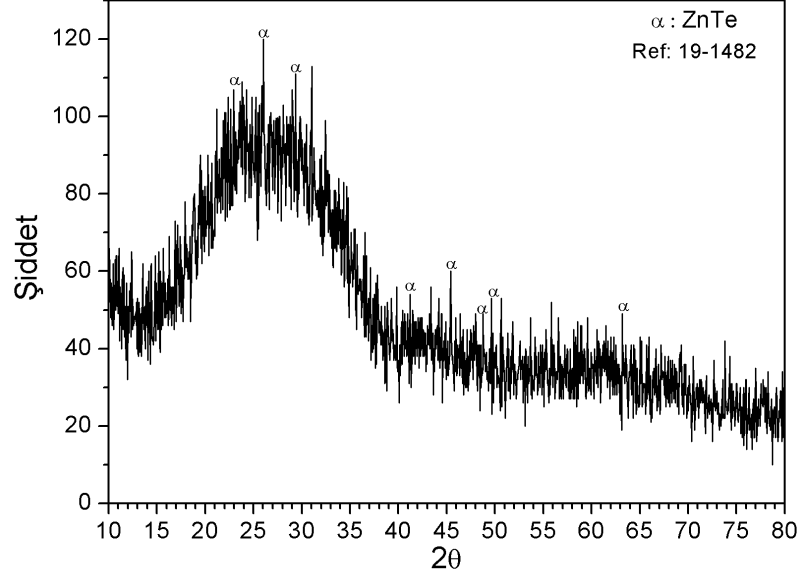
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
SNCA-0,5ZnTe-120h	% 70	300 nm	3,4 eV	1,814 nm

SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait ısı analiz sonucu Şekil 4.34'te verilmiştir. Yapılan DTA analizleri sonucunda herhangi bir ekzotermik reaksiyon gözlenmemiş, numuneye ait cam geçiş sıcaklığı 473 °C olarak tespit edilmiştir.



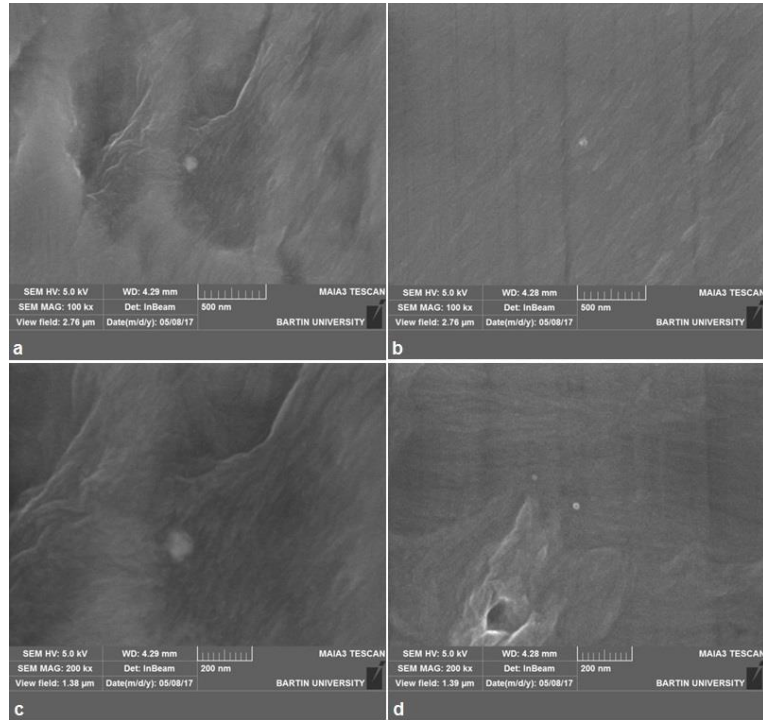
Şekil 4. 34 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait DTA termogramı

Yapılan ısı işlemler sonucu cam yapıda meydana gelen ZnTe kristalizasyonunu tespit etmek amacıyla faz analizleri uygulanmış; ancak kısa süre ısı işlem uygulanmış numunelerde cam bileşiminde molce %0,5 oranında bulunan ZnTe'ye ait kristalizasyon piklerine rastlanmamış, amorf yapı gözlemlenmiştir. Yalnızca 120 saat ısı işlem uygulanmış SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait XRD analizinin sonucunda ZnTe kristalizasyonuna rastlanmıştır. Şekil 4.35'te SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait XRD sonucu verilmiştir. XRD paternine göre, amorf arka plan üzerinde 24, 25, 29, 41, 45, 49, 50 ve 63 derecelerde düşük şiddetli ZnTe pikleri tespit edilmiştir. Gözlemlenen ZnTe pikleri 19-1482 referans numaralı ICDD kartı ile örtüşmektedir.



Şekil 4. 35 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait XRD analiz sonucu

Şekil 4.36a ve b'de 100 kx büyütmede, Şekil 4.36c ve d'de ise 200 kx büyütmede 5 kV hızlandırma voltajı ile çekilen SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Yapı içerisinde boyutları 50 ila 100 nm arasında değişen ZnTe kristalitleri tespit edilmiş ve kristalitlerin yapıda büyük oranda homojen olarak dağılmış kümeler halinde bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 36 SNCA-0,5ZnTe-120h numunesine ait SEM görüntüleri a) 100 kx, b) 100 kx, c)200 kx, d) 200 kx

4.2 TeO₂-WO₃-Na₂O Sistemi

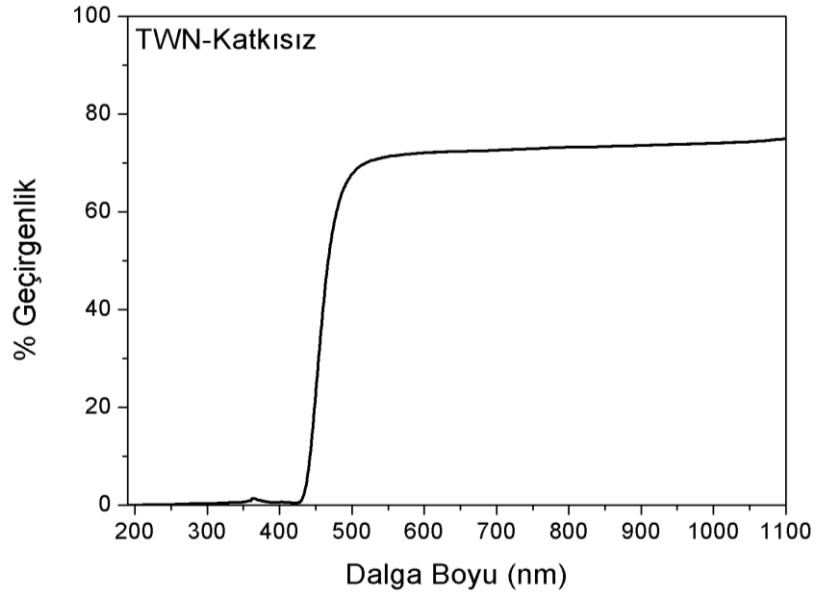
4.2.1 TWN-katkısız Numunesi

Molce %60 TeO₂, %30 WO₃ ve %10 Na₂O içeren cam harmanının, 800 °C'deki fırında 15 dakika bekletilip önceden ısıtılmış paslanmaz çelik kalıplara dökülmesi ve 200 °C'de 1 saat gerilim giderme tavi uygulanması sonucu üretilen TWN-katkısız numunesi Şekil 4.37'de görüleceği üzere şeffaf ve sarı renktedir.



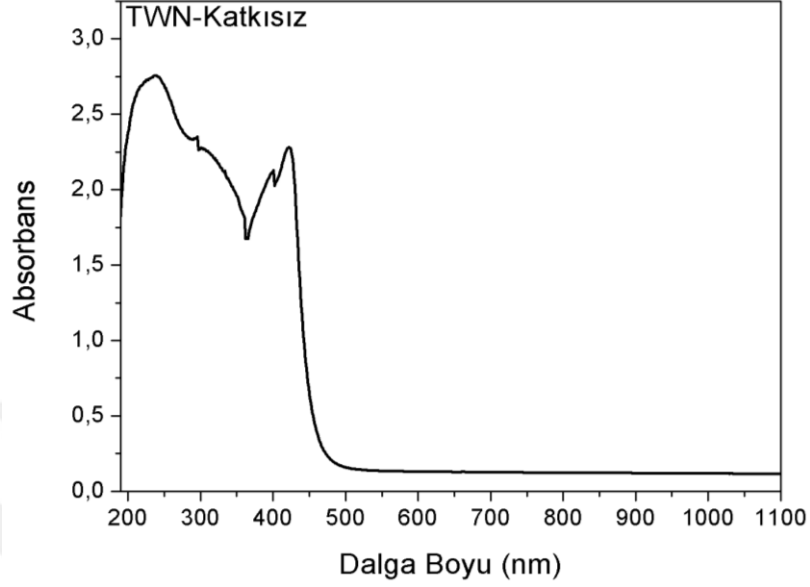
Şekil 4. 37 TWN-katkısız numunesinin makro fotoğrafı

Sentezlenen TWN-katkısız numunesinin optik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan geçirgenlik ölçümleri sonucunda, görünür bölgede %72 geçirgenliğe sahip olduğu ve soğurma sınırının 430 nm'de bulunduğu belirlenmiştir, görünür bölge spektrumu Şekil 4.38'de verilmiştir.



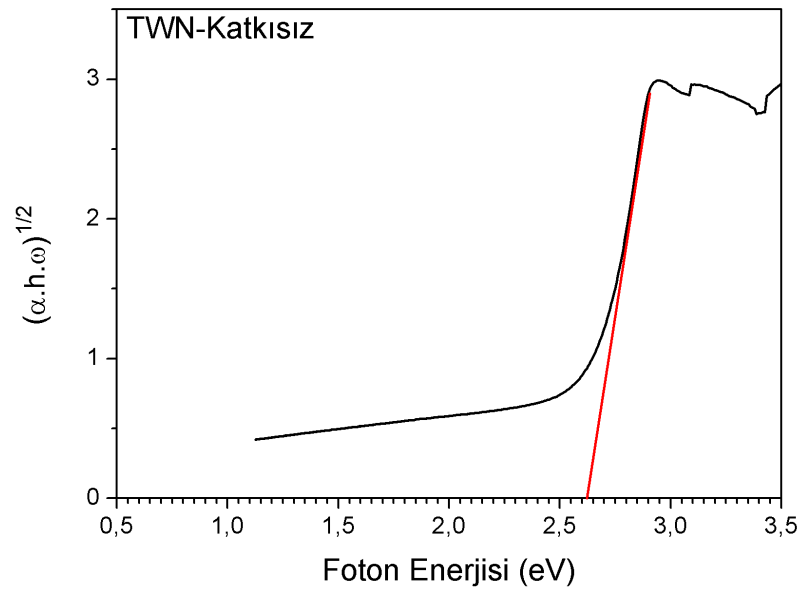
Şekil 4. 38 TWN-katkısız numunesine ait geçirgenlik analizi

TWN-katkısız numunesinin soğurma davranışının belirlenmesi amacıyla yapılan optik ölçümlerde ise Şekil 4.39'da görüleceği üzere pik noktaları 240, 400 ve 420 nm'de bulunan üç adet kuvvetli soğurma bandının bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 39 TWN-katkısız numunesine ait soğurma analizi

Optik ölçümler sonucunda elde edilen soğurma değerlerinden faydalanılarak çizilen Tauc eğrisi ile TWN-katkısız numunesinin optik bant aralığı enerjisi 2,62 eV olarak belirlenmiş, ilgili grafik Şekil 4.40'ta verilmiştir.



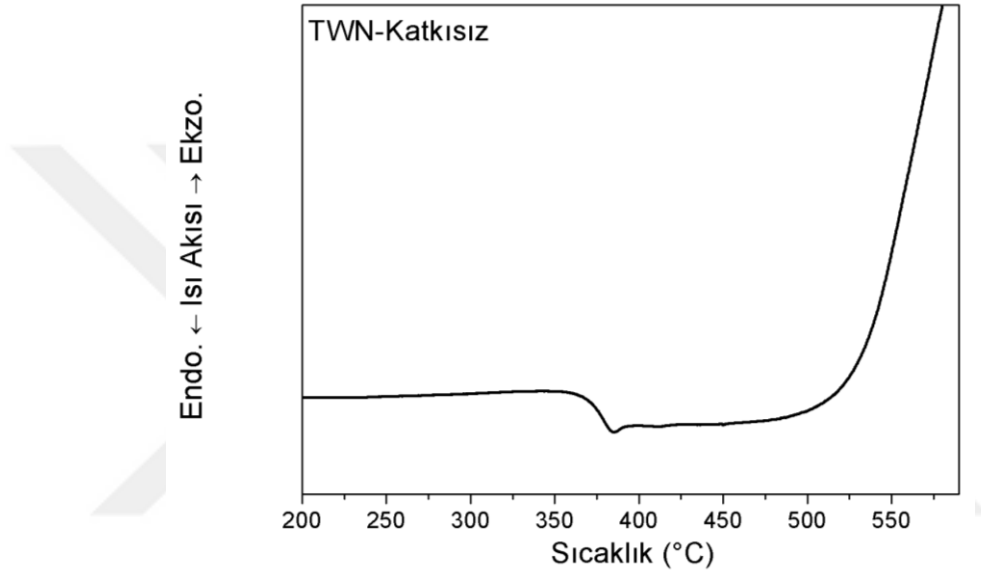
Şekil 4. 40 TWN-katkısız numunesine ait Tauc eğrisi

Gerçekleştirilen optik analizlerin sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4. 7 TWN-katkısız numunesine ait optik ölçüm sonuçları

Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}
TWN-katkısız	% 72	430 nm	2,62 eV

TWN-katkısız numunesi ile gerçekleştirilen ısı analizler sonucunda numunenin cam geçiş sıcaklığı 369 °C olarak belirlenmiş ve herhangi bir ekzotermik reaksiyona rastlanmamıştır. İlgili sonuç Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4. 41 TWN-katkısız numunesine ait DSC termogramı

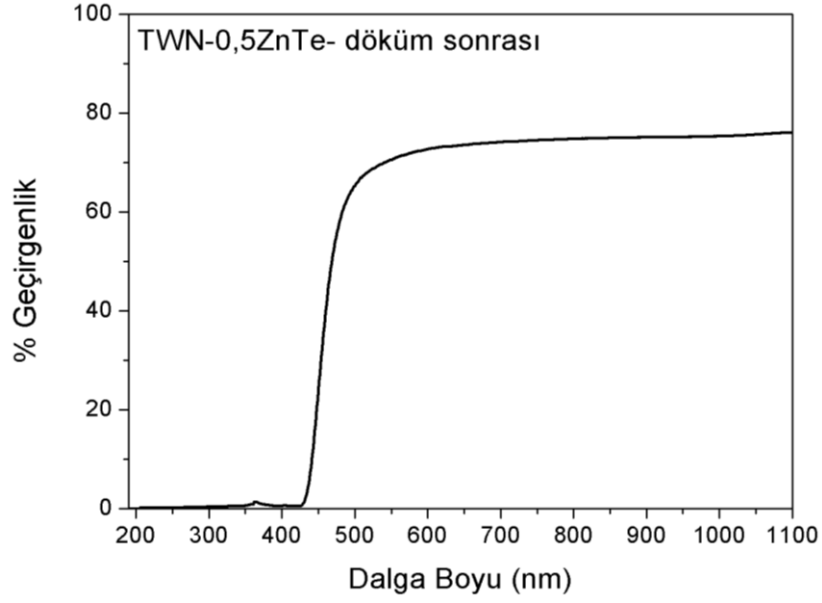
4.2.2 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası Numunesi

TWN-katkısız numunesine molce %0,5 ZnTe katkılanması ile sentezlenen TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesi Şekil 4.42’de görüldüğü üzere şeffaf ve sarı renktedir.



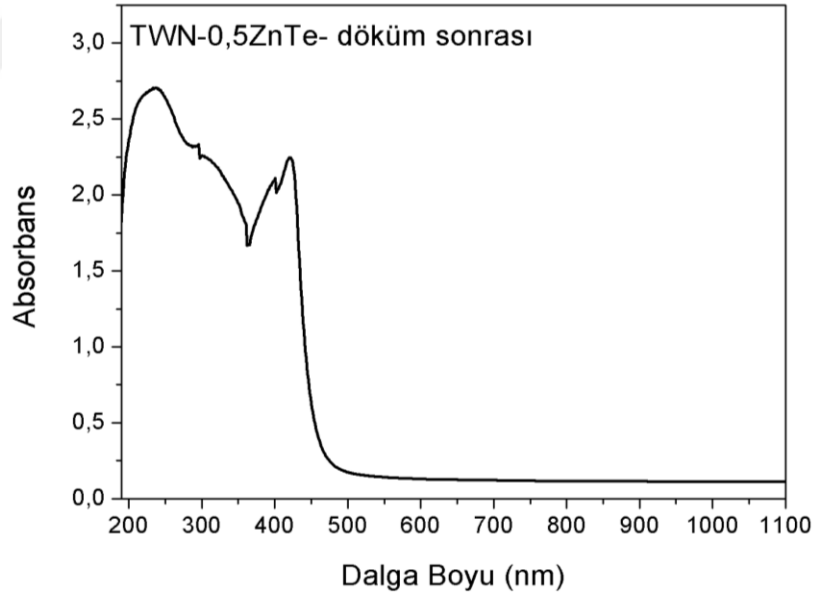
Şekil 4. 42 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin makro fotoğrafı

Yapılan optik ölçümler sonucunda TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin görünür bölge geçirgenliği Şekil 4.43’te görüleceği üzere yaklaşık olarak %70, soğurma sınırı ise 432 nm olarak belirlenmiştir.



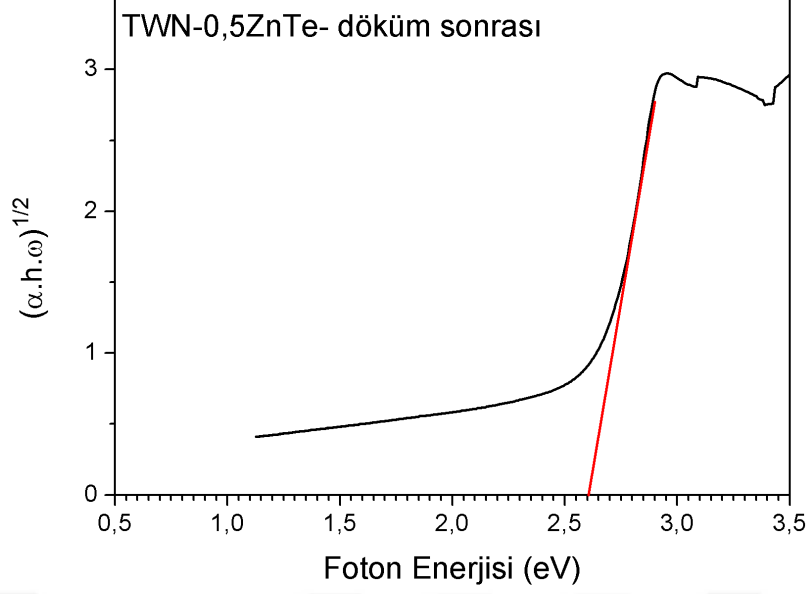
Şekil 4. 43 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait geçirgenlik analizi

Şekil 4.44'te verilen soğurma ölçümleri ile TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin 238, 400 ve 420 nm'de pikleri bulunan iç içe geçmiş soğurma bantları bulunduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 44 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait soğurma analizi

Optik bant aralığının belirlenmesi amacıyla soğurma değerlerinden çizilen Tauc eğrisi ile, TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin bant aralığı enerjisi Şekil 4.45'te görüleceği üzere 2,6 eV olarak tespit edilmiştir. ZnTe kristalitlerinin tane boyutları Etkin Kütle Yaklaşımı kullanılarak 3,597 nm olarak elde edilmiştir.



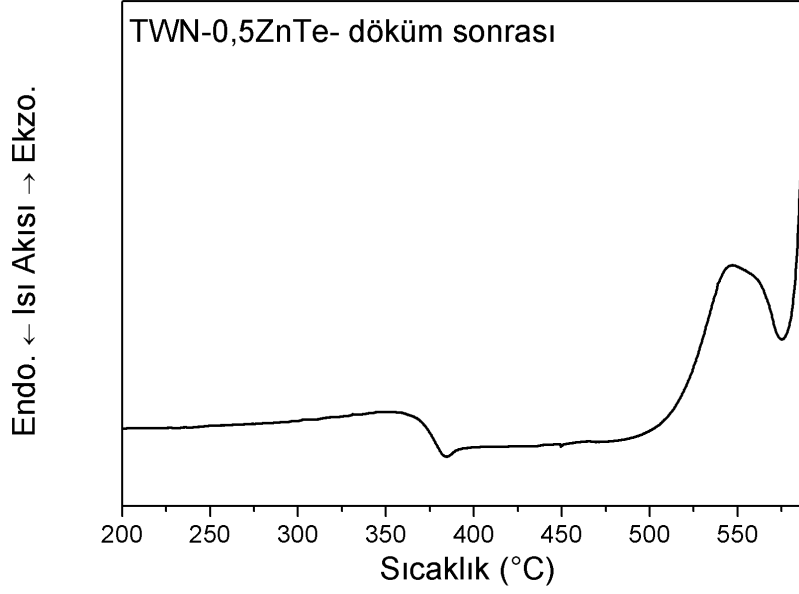
Şekil 4. 45 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait Tauc eğrisi

Numunenin optik karakterizasyonu amacıyla yapılan ölçümlere ait sonuçlar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4. 8 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait optik ölçüm sonuçları

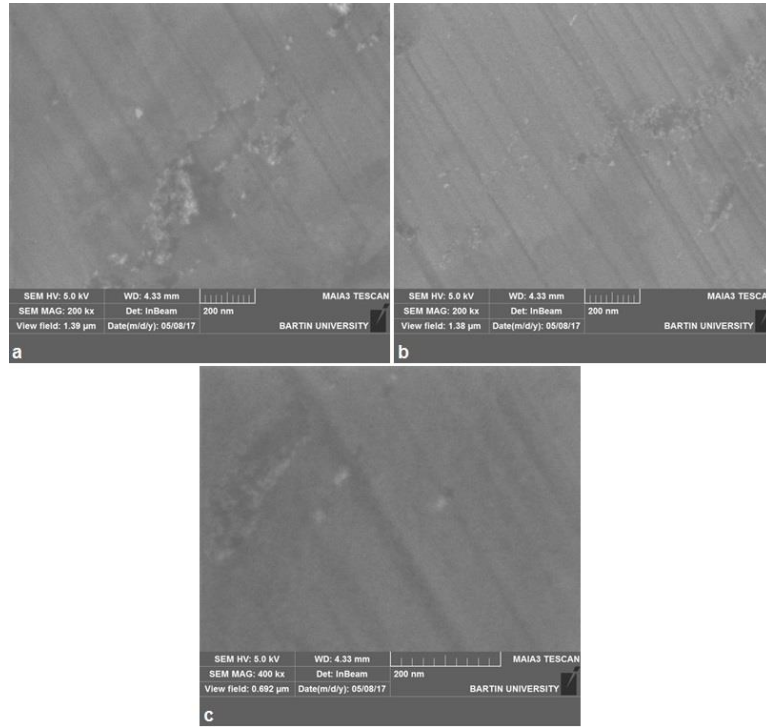
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası	% 70	432 nm	2,55 eV	3,597 nm

TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin DSC yöntemi ile gerçekleştirilen ısı karakterizasyonu sonucu elde edilen termogram Şekil 4.46’da verilmiştir. Analiz sonucunda numunenin cam geçiş sıcaklığı 368 °C olarak belirlenmiş ve onset sıcaklığı 519 °C, pik sıcaklığı ise 547 °C olan ekzotermik bir reaksiyon tespit edilmiştir.



Şekil 4. 46 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait DSC termogramı

Numunenin mikroyapısal incelemesi amacıyla 5 kV hızlandırma voltajı ile gerçekleştirilen SEM analizlerine ait sonuçlar Şekil 4.47a ve b'de 200 kx büyütme için, Şekil 4.47c'de ise 400 kx büyütme için verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yapıda boyutları 15 ila 30 nm arasında değişen ve matris genelinde kümelenmiş halde bulunan ZnTe kristalitleri tespit edilmiştir.



Şekil 4. 47 TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesine ait SEM görüntüleri
a) 200 kx, b) 200 kx, c) 400 kx

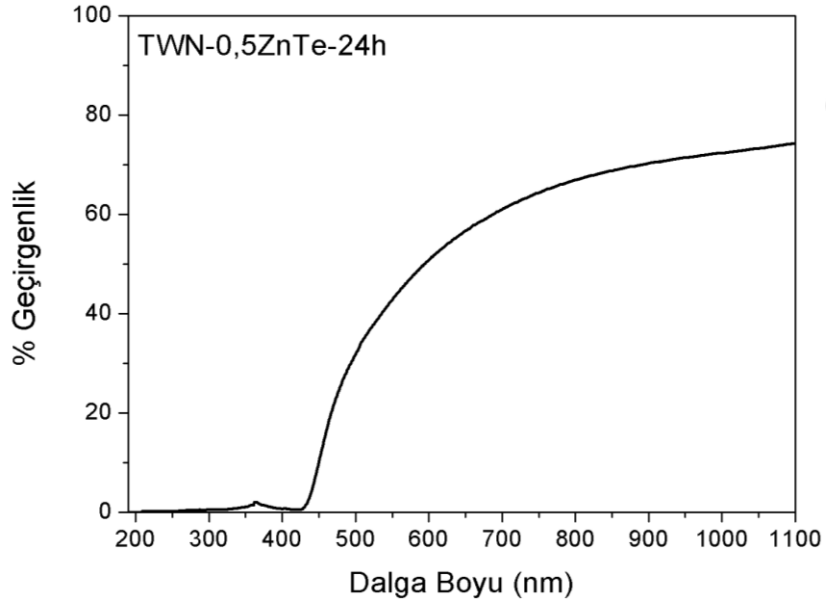
4.2.3 TWN-0,5ZnTe-24h Numunesi

TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinde ZnTe kristalitlerini oluşturmak ve büyütme amacıyla 440 °C'de 24 saatlik ısıtım işlemi sonucunda Şekil 4.48'de görülen yarı saydam ve sarı renkli TWN-0,5ZnTe-24h numunesi üretilmiştir.



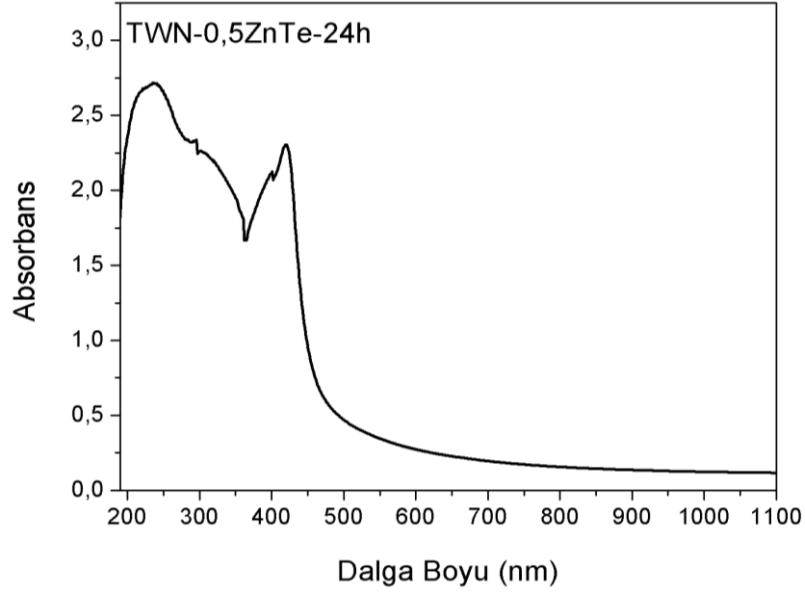
Şekil 4. 48 TWN-0,5ZnTe-24h numunesinin makro fotoğrafı

TWN-0,5ZnTe-24h numunesinin geçirgenlik ve soğurma davranışlarının belirlenmesi için yapılan optik ölçümler sonucunda, numunenin görünür bölgede %60 oranında geçirgenliğe sahip olduğu ve 435 nm'de soğurma sınırının bulunduğu tespit edilmiştir, ilgili spektrum Şekil 4.49'da verilmiştir.



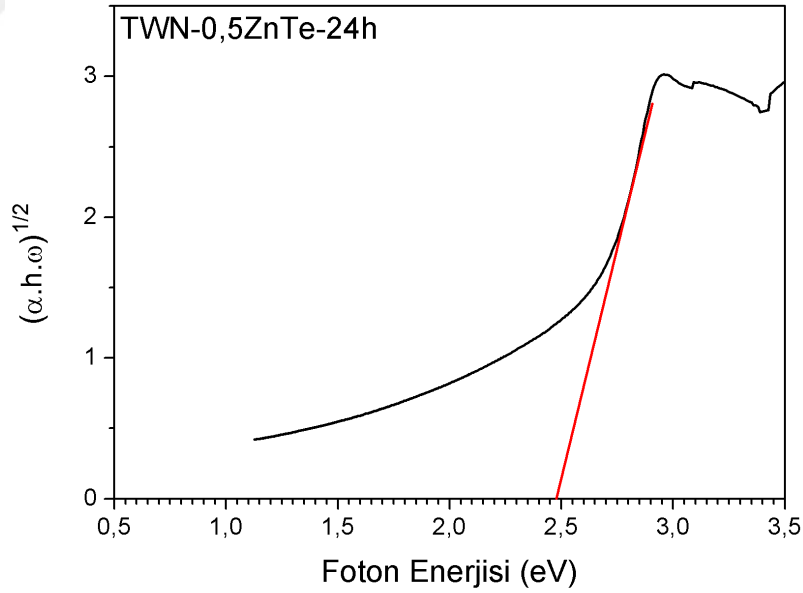
Şekil 4. 49 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait geçirgenlik analizi

Şekil 4.50'de görülen soğurma spektrumlarına göre ise, TWN-0,5ZnTe-24h numunesinin pikleri 238, 400 ve 420 nm'de bulunan üç adet soğurma bandının olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 50 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait soğurma analizi

Numunenin soğurma ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ile Şekil 4.51’de verilen Tauc eğrisi çizilmiştir. Elde edilen grafik sonucunda numunenin optik bant aralığı enerjisi 2,48 eV olarak belirlenmiştir. Bağintı (3.3) kullanılarak matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları 4,130 nm olarak elde edilmiştir.



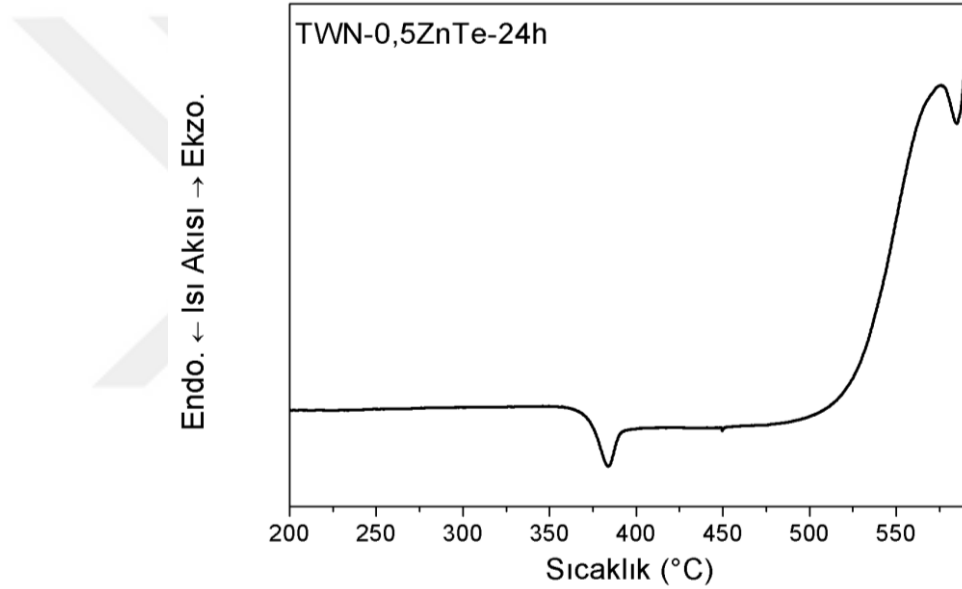
Şekil 4. 51 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait Tauc eğrisi

Yapılan optik ölçümlere ait sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4. 9 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait optik ölçüm sonuçları

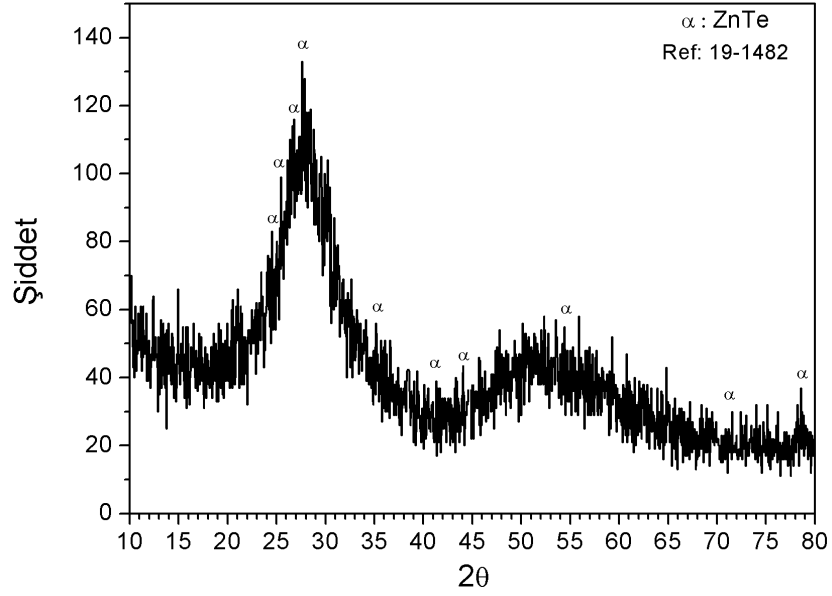
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
TWN-0,5ZnTe-24h	% 60	435 nm	2,48 eV	4,130 nm

440 °C'de 24 saat ısıtım uygulanan TWN-0,5ZnTe-24h numunesinin ısıtım özelliklerini incelemek için gerçekleştirilen DSC analizi sonucunda numuneye ait cam geçiş sıcaklığı 370 °C olarak belirlenmiş ve onset sıcaklığı 527 °C, pik sıcaklığı ise 575 °C olan bir ekzotermik reaksiyon tespit edilmiştir. İlgili sonuç Şekil 4.52'de verilmiştir.



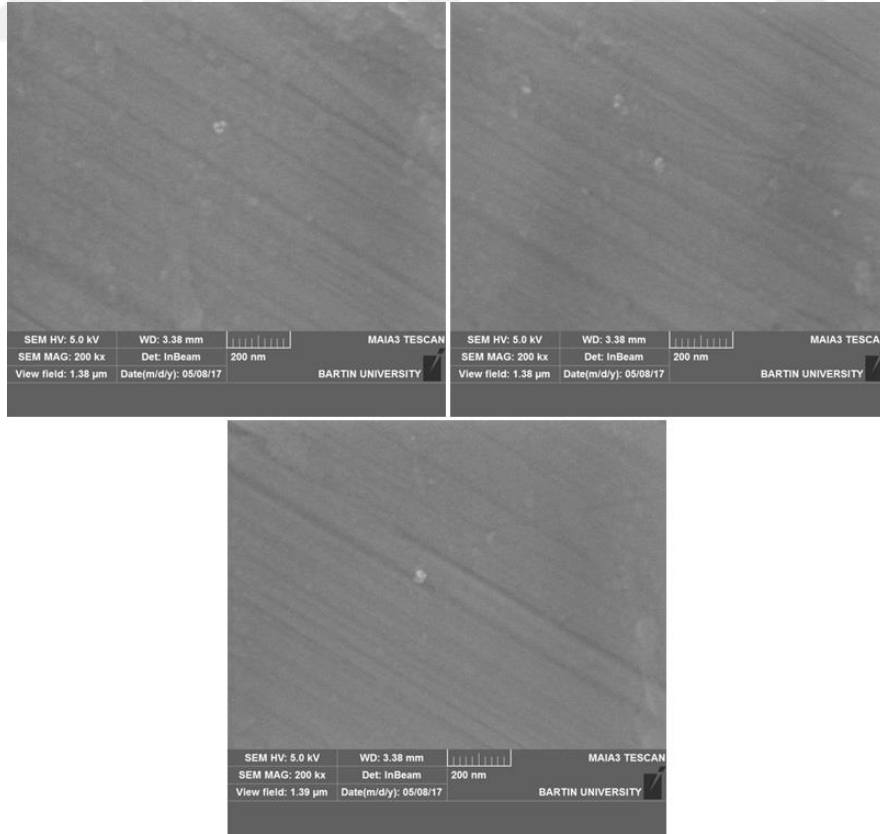
Şekil 4. 52 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait DSC termogramı

Isıtım sonucunda amorf matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilen XRD analiz sonucu Şekil 4.53'te verilmiştir. Analiz sonucuna göre döküm sonrası numunede belirgin bir kristalizasyon piki görülmemiş, elde edilen paternin ICDD veri dosyaları ile karşılaştırılması sonucu 19-1482 ICDD referans numaralı ZnTe fazına ait kristalizasyon belirlenmiştir. Zayıf ZnTe pikleri amorf arka plan üzerinde 24, 25, 27, 35, 42, 45, 55, 72 ve 79 derecelerde tespit edilmiştir.



Şekil 4. 53 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait XRD analiz sonucu

Mikroyapı analizi gerçekleştirilen TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri (5 kV, 200 kx) Şekil 4.54'te verilmiştir. Analiz sonuçlarından yapıda tane boyutları 30 ila 50 nm arasında değişen ZnTe kristalitlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. ZnTe kristalitleri yapıda homojen dağılmış kümeler şeklinde bulunmaktadır.



Şekil 4. 54 TWN-0,5ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri

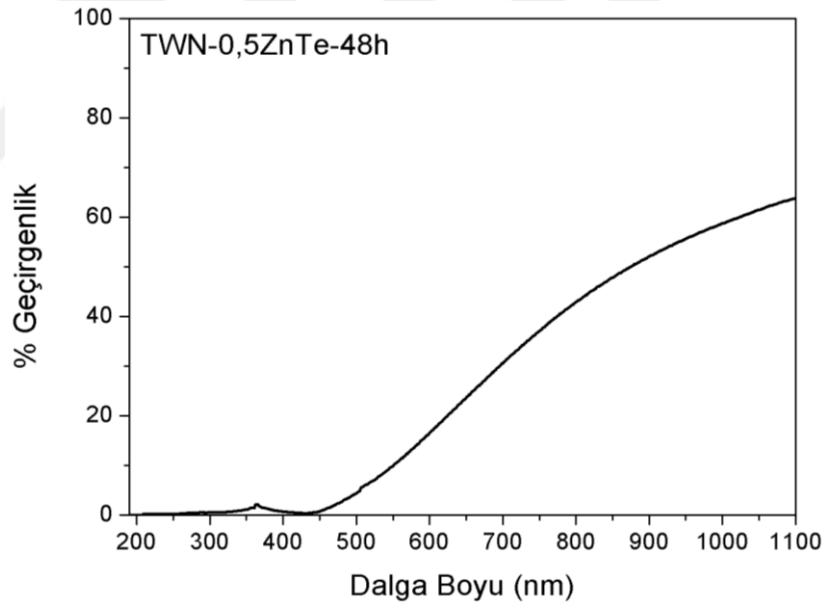
4.2.4 TWN-0,5ZnTe-48h Numunesi

TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası numunesinin 440 °C'de 48 saat boyunca tavlama sonucu sentezlenen TWN-0,5ZnTe-48h numunesi Şekil 4.55'te görüldüğü üzere yarı saydam ve koyu sarı renktedir.



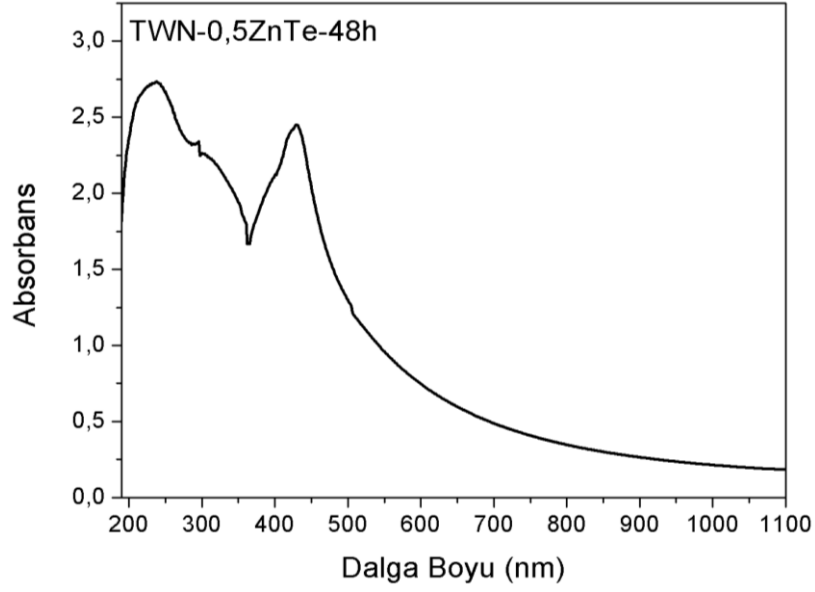
Şekil 4. 55 TWN-0,5ZnTe-48h numunesinin makro fotoğrafı

TWN-0,5ZnTe-48h numunesinin yapılan optik ölçümler sonucunda görünür bölgedeki geçirgenliğinin Şekil 4.56'da görüleceği üzere %45 civarında olduğu ve soğurma sınırının 450 nm'de bulunduğu belirlenmiştir.



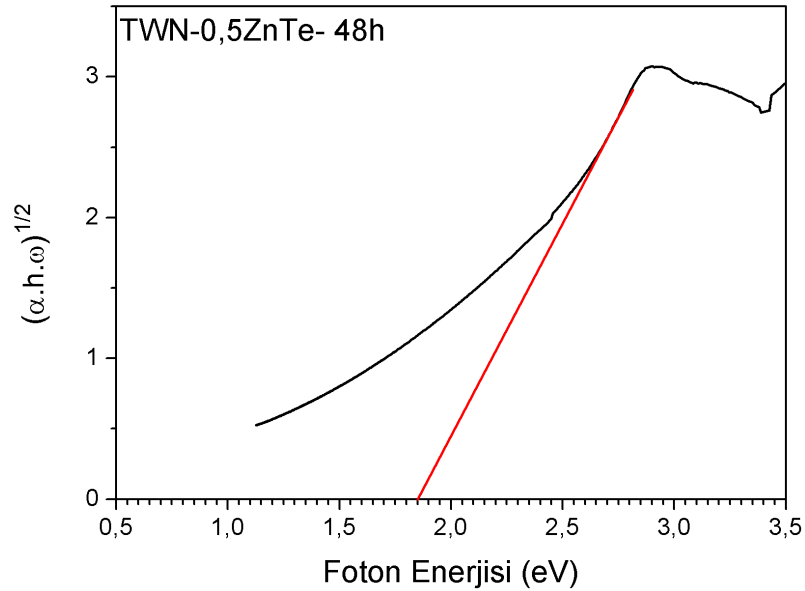
Şekil 4. 56 TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait geçirgenlik analizi

Şekil 4.57'de sonucu verilen soğurma ölçümleri ile TWN-0,5ZnTe-48h numunesinin 240 ve 430 nm'de pikleri bulunan iki adet soğurma bandının olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. 57 TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait soğurma analizi

TWN-0,5ZnTe-48h numunesinin optik bant aralığı enerjisinin belirlenmesi amacıyla soğurma ölçümünden elde edilen verilerle Tauc eğrisi çizilmiştir. Şekil 4.58’de verilen grafiğe göre numunenin optik bant aralığı enerjisi 1,85 eV olarak belirlenmiştir. Yapıda sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları, hesaplanan bant aralığı enerjisinin ZnTe’nin bant aralığı enerjisinden küçük olması nedeniyle Etkin Kütle Yaklaşımı kullanılarak hesaplanamamıştır.



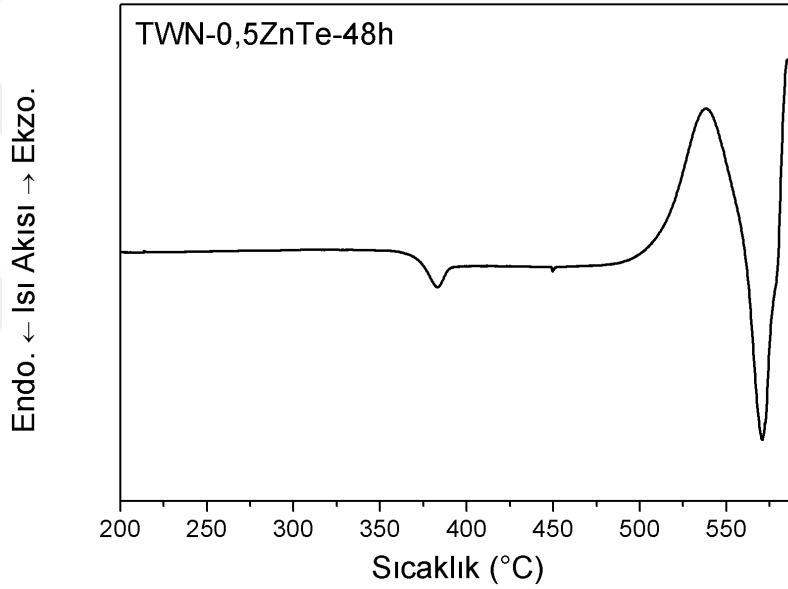
Şekil 4. 58 TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait Tauc eğrisi

Yapılan optik ölçümlere ait sonuçlar Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4. 10 TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait optik ölçüm sonuçları

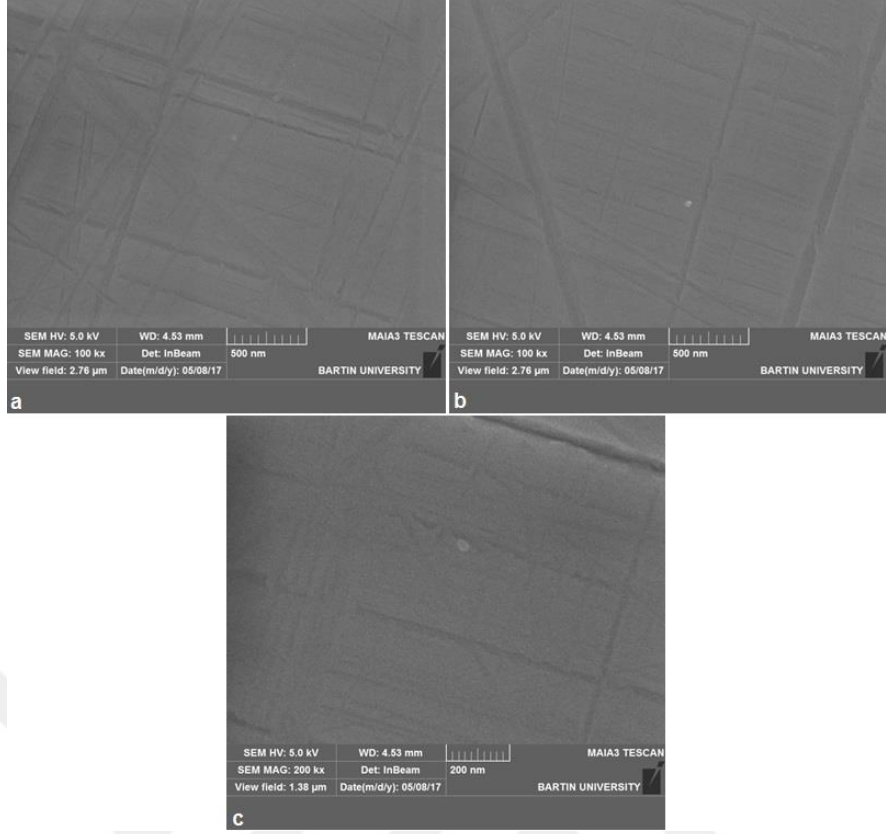
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E _{opt}
TWN-0,5ZnTe-48h	% 45	450 nm	1,85 eV

TWN-0,5ZnTe-48h numunesinin DSC yöntemi ile gerçekleştirilen ısı karakterizasyonuna ait termogram Şekil 4.59'da verilmiştir. Analiz sonucunda 371 °C'de gerçekleşen cam geçiş reaksiyonu, onset sıcaklığı 511 °C ve pik sıcaklığı 537 °C olan bir adet kristalizasyon reaksiyonu belirlenmiştir. Kristalizasyon reaksiyonu sonucu gözlemlenen şiddetli endotermik davranış ise ısı hat çizgisinin reaksiyon sonrası toparlanmasını (baseline recovery) temsil etmekte olup; endotermik bir reaksiyona ait değildir.



Şekil 4. 59 TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait DSC termogramı

Isıl işlem ile amorf yapıda sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tespiti amacıyla gerçekleştirilen SEM analizine (5 kV) ait görüntüler 100 kx büyütme için Şekil 4.60a ve b'de, 200 kx büyütme için ise Şekil 4.60c'de verilmiştir. İncelemeler sonucunda yapıda boyutları 45 ila 50 nm arasında değişen ve yapıda genellikle kümelenmiş halde bulunan ZnTe kristalitleri tespit edilmiştir.



Şekil 4. 60 TWN-0,5ZnTe-48h numunesine ait SEM görüntüleri
a) 100 kx, b) 100 kx, c) 200 kx

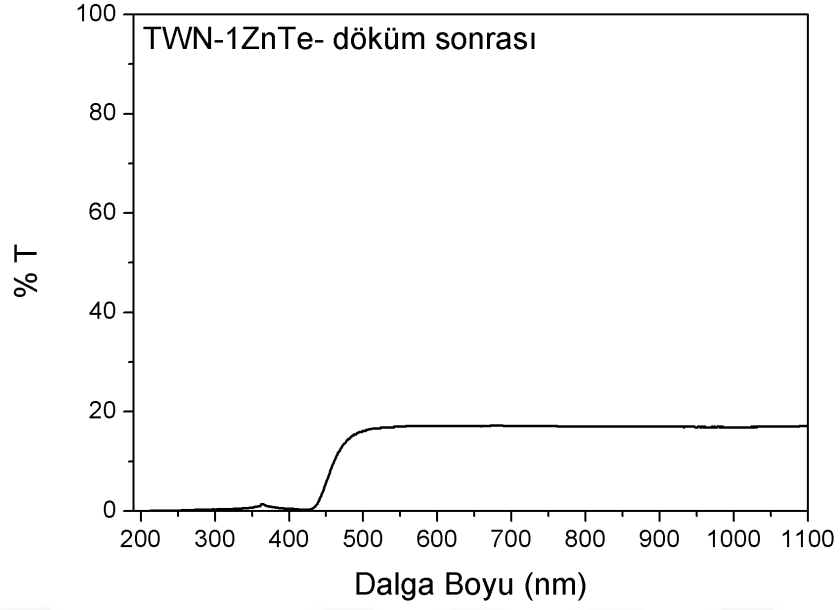
4.2.5 TWN-1ZnTe-döküm sonrası Numunesi

Molce %1 ZnTe katkılanmış TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesi Şekil 4.61'de görüldüğü üzere heterojen görünümde ve yarı mat sarı renge sahiptir.



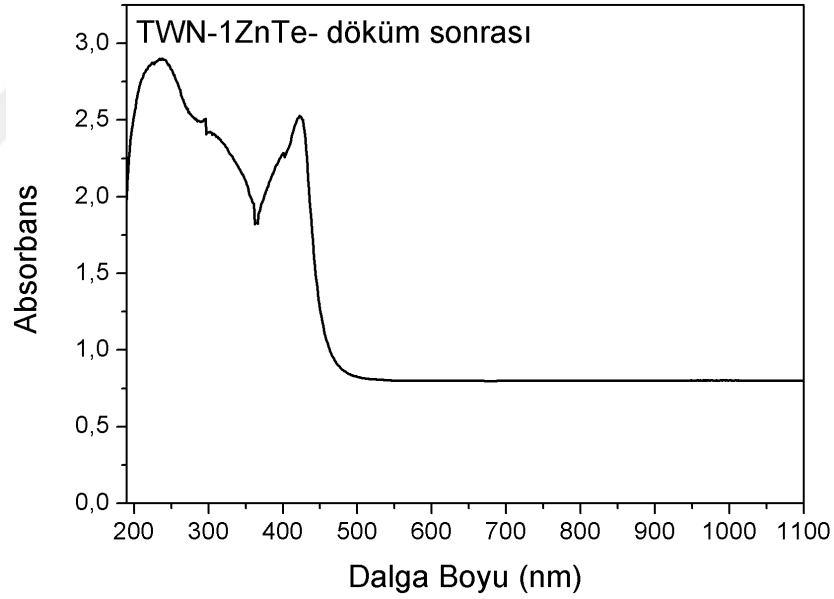
Şekil 4. 61 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesinin makro fotoğrafı

Numunenin optik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan geçirgenlik ve soğurma ölçüm sonuçları Şekil 4.62'de ve Şekil 4.63'te verilmiştir. Yapılan geçirgenlik ölçümleri sonucunda numunenin görünür bölge geçirgenliğinin % 17 olduğu ve soğurma sınırının 430 nm'de bulunduğu belirlenmiştir.



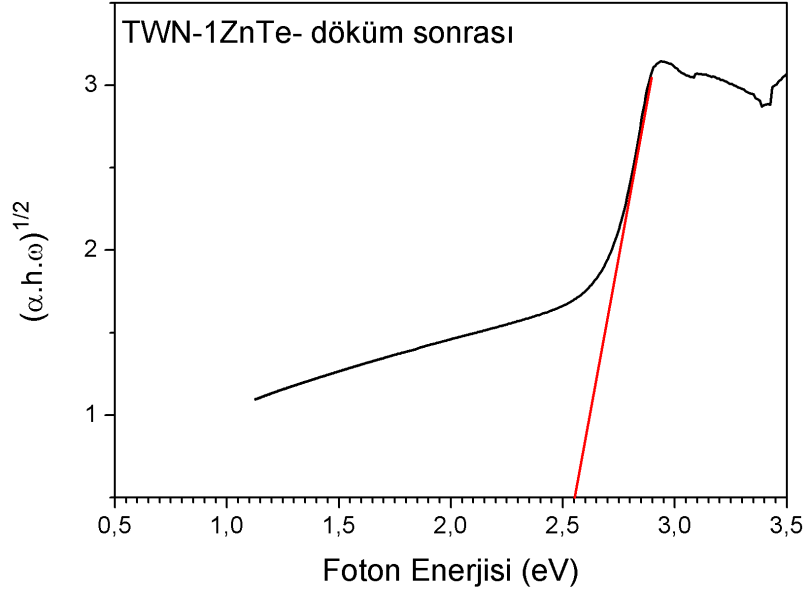
Şekil 4. 62 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait geçirgenlik analizi

Yapılan soğırma ölçümleri sonucunda pikleri 240 ve 420 nm’de olmak üzere iki soğırma bandı belirlenmiştir.



Şekil 4. 63 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait soğırma anlızi

TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesinin optik bant aralığı enerjisinin belirlenmesi amacıyla çizilen T_{auc} eğrisi Şekil 4.64’te verilmiştir. Grafiğre göre numunenin optik bant aralığı enerjisi 2,55 eV olarak belirlenmiştir. Yapıda sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları bağıntı (3.3) kullanılarak 3,597 nm olarak elde edilmiştir.



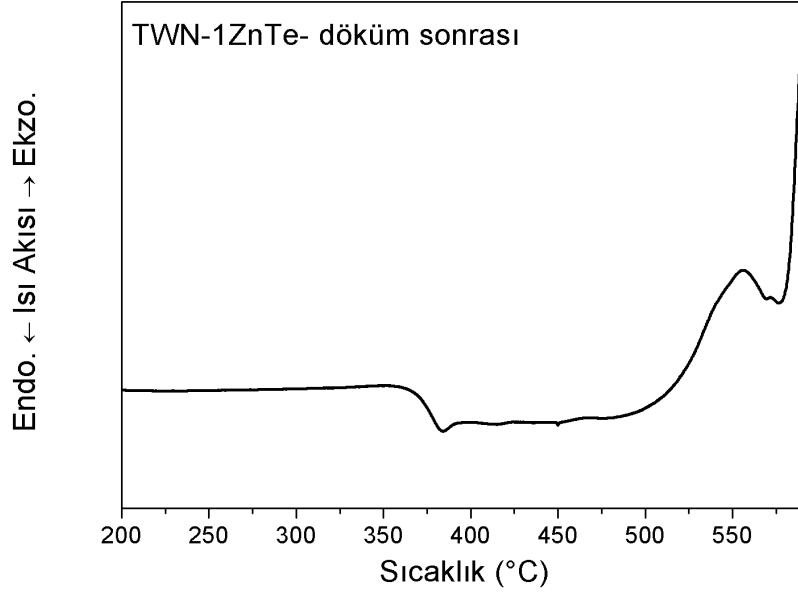
Şekil 4. 64 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait Tauc eğrisi

TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait optik özellikler Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4. 11 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait optik ölçüm sonuçları

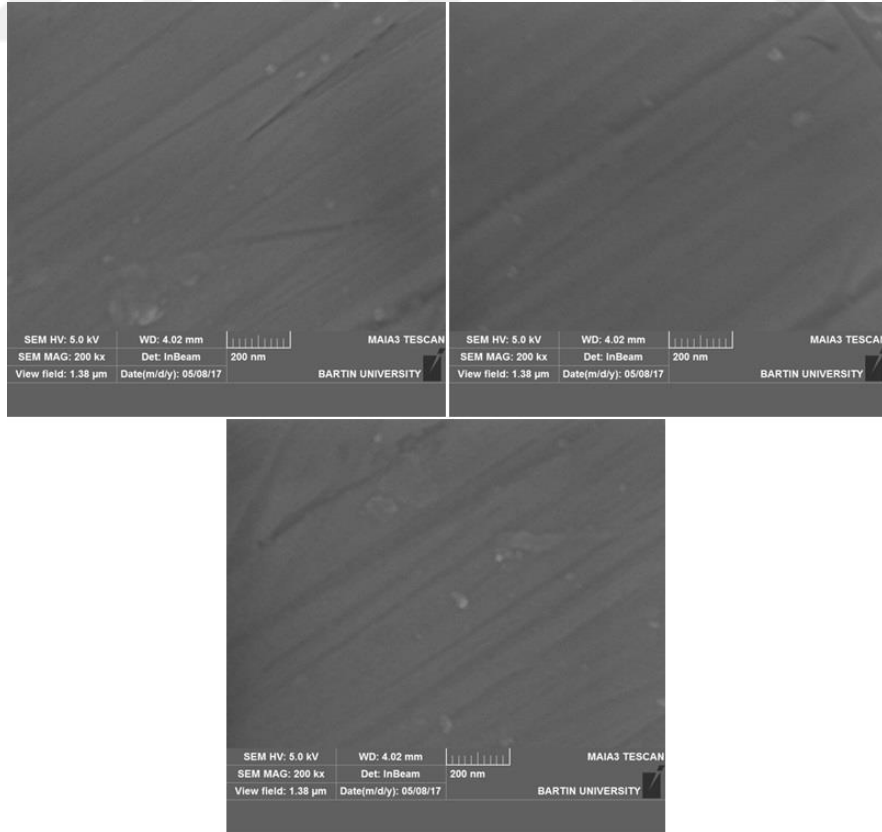
Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
TWN-1ZnTe-döküm sonrası	% 17	430 nm	2,55 eV	3,597 nm

Gerçekleştirilen ısı analizler sonucunda Şekil 4.65’te görüldüğü üzere cam geçiş ve kristalizasyon reaksiyonları gözlenmiştir. Numunenin cam geçiş sıcaklığı 369 °C olarak belirlenmiştir. Termogramda birincisi yüksek ikincisi çok düşük şiddetli olmak üzere iki adet kristalizasyon piki tespit edilmiştir. Birinci kristalizasyon pikine ait onset ve pik sıcaklıkları sırasıyla 516 °C ve 555 °C, ikinci kristalizasyon reaksiyonuna ait onset sıcaklığı ise 575 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 65 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait DSC termogramı

TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait mikroyapı analiz sonuçları (5 kV, 200 kx) Şekil 4.66'da verilmiştir. Analiz sonucunda yapı içerisinde 25 – 50 nm boyutları arasında ZnTe kuantum noktalar tespit edilmiş ve matris içerisinde belirli bölgelerde kümelenmiş halde buldukları belirlenmiştir.



Şekil 4. 66 TWN-1ZnTe-döküm sonrası numunesine ait SEM görüntüleri

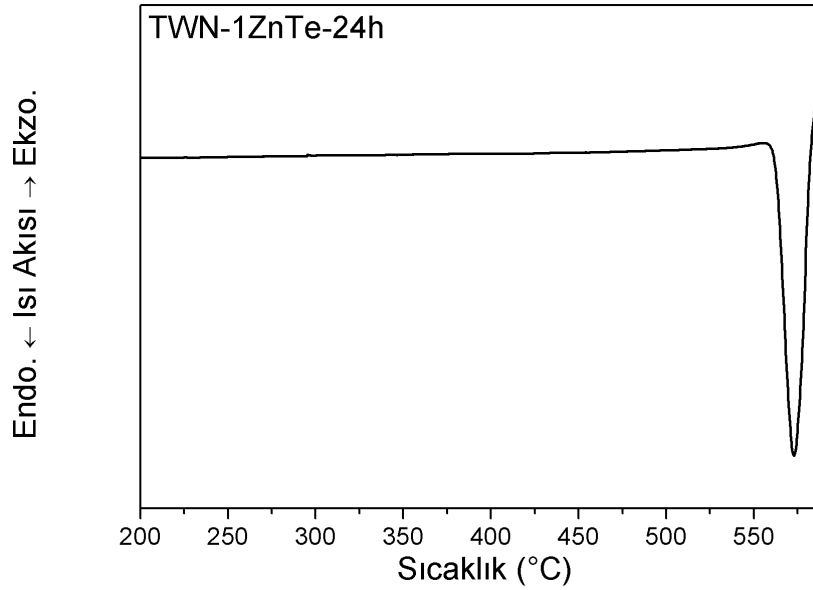
4.2.6 TWN-1ZnTe-24h Numunesi

Molce %1 ZnTe katkılanırılmış ve 550 °C'de 24 saat ısıll işleme tabii tutulmuş TWN-1ZnTe-24h numunesi Şekil 4.67'de görüldüğü üzere opak ve açık kahverengi renge sahiptir.



Şekil 4. 67 TWN-1ZnTe-24h numunesinin makro fotoğrafı

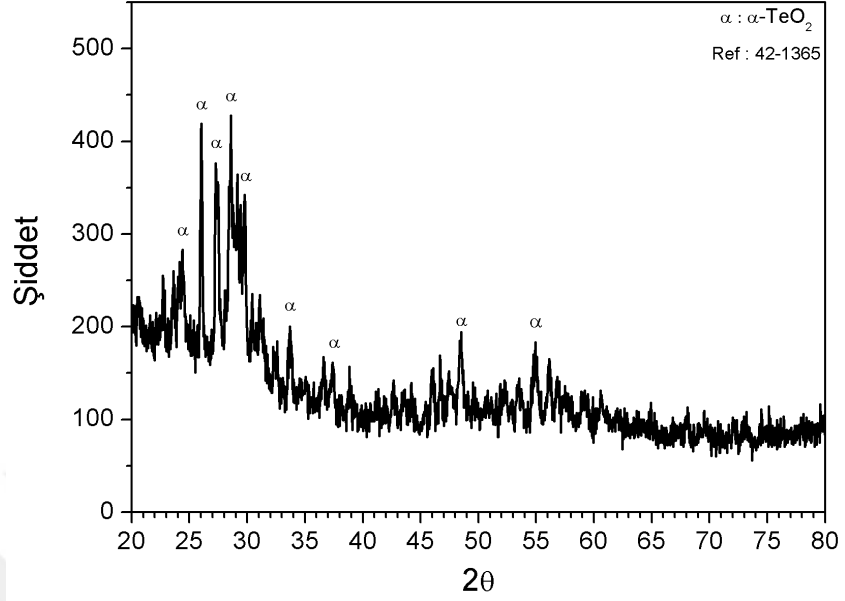
Gerçekleştirilen ısıll analizii sonucu Şekil 4.68'de verilmiştir. Analiz sonucunda cam geçiş ve kristalizasyon reaksiyonları gözlenmezken, 572 °C'de gerçekleşen şiddetli bir endotermik reaksiyon belirlenmiştir.



Şekil 4. 68 TWN-1ZnTe-24h numunesine ait DSC termogramı

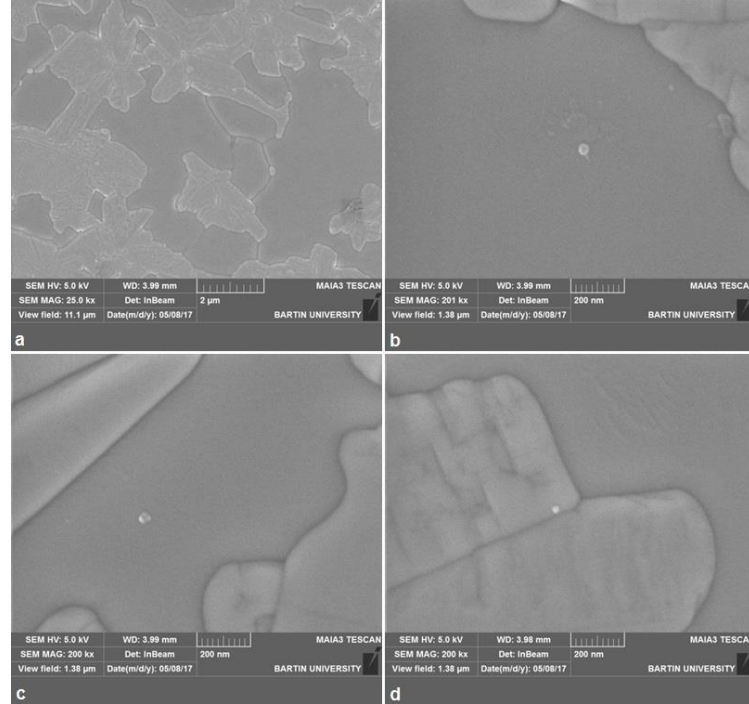
Isıll işlem sonucu matriste kristallenen fazların tespiti amacıyla gerçekleştirilen XRD analiz sonucu Şekil 4.69'da verilmiştir. XRD paterninde 24, 26, 27, 28, 30, 37, 48 ve 55 derecelerde α -TeO₂ (42-1365 referans numaralı ICDD kartı) fazına ait pikler tespit edilmiştir. Makro fotoğrafından, DSC ve XRD analizlerinden de görüleceği gibi amorf karakterini kaybederek tamamen kristallenen TWN-1ZnTe-24h numunesinde tespit edilen yüksek şiddetli α -TeO₂ kristalizasyonunun, α -TeO₂'ye kıyasla çok az miktarda

yapıda bulunan ZnTe'ye ait zayıf kristalizasyona ait piklerin görülmesini engellediği düşünülmektedir.



Şekil 4. 69 TWN-1ZnTe-24h numunesine ait XRD sonucu

TWN-1ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri (5 kV) Şekil 4.70a'da 25 kx büyütme için, Şekil 4.70b,c ve d'de ise 200 kx büyütme için verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yüzeyde α -TeO₂ kristalitlerinin olduğu belirlenmiş ayrıca tane boyutları 45 ila 65 nm arasında değişen ZnTe kristalitleri tespit edilmiştir.



Şekil 4. 70 TWN-1ZnTe-24h numunesine ait SEM görüntüleri a) 25 kx, b) 200 kx, c) 200 kx, d) 200 kx

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

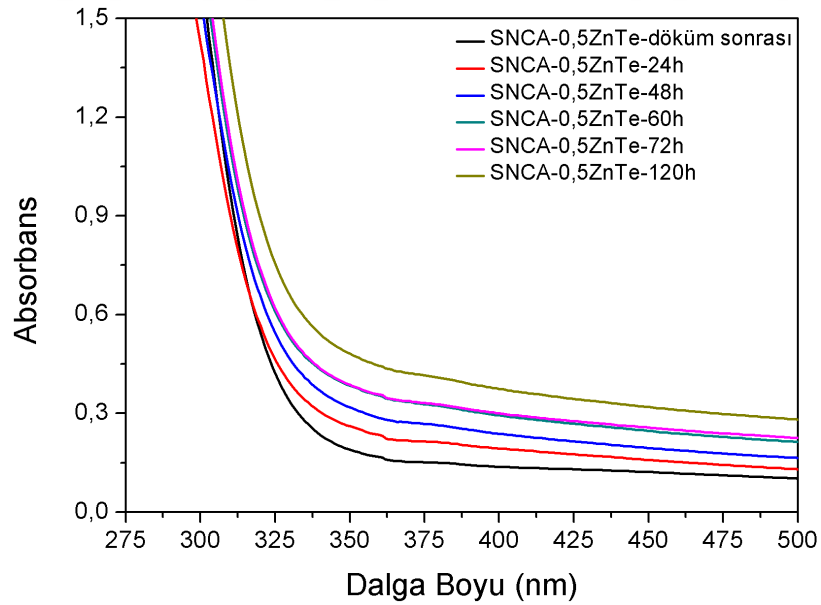
5.1 SiO₂-Na₂O-CaO-Al₂O₃ Sistemine Ait Sonuçların Değerlendirilmesi

SiO₂-Na₂O-CaO-Al₂O₃ sisteminde sentezlenen numunelerin geçirgenlik değerlerinin ve soğurma sınırlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen optik analiz sonuçları ve bu verilerden yola çıkılarak hesaplanan optik bant aralığı enerjisi değerleri tüm numuneler için karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.1’de verilmiştir. Ölçümler sonucunda numunelerin geçirgenlik değerlerinin %85 ila %70 arasında, soğurma sınırlarının ise 292 ila 300 nm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Artan ısı işlem süresi ile optik geçirgenlik değerlerinin azaldığı, soğurma sınırlarının yüksek dalga boylarına doğru ötelendiği ve optik bant aralığı enerjilerinin 3,55 eV’den 3,40 eV’ye düştüğü belirlenmiştir. Buna göre artan ısı işlem süresiyle cam yapıda büyüyen ZnTe kristalitlerinin camın elektriksel ve optik özelliklerinde belirgin bir değişim meydana getirdiği tespit edilmiştir. Etkin Kütle Yaklaşımı ile matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları teorik olarak hesaplanmış, artan ısı işlem süresi ile hesaplanan tane boyutlarının da arttığı tespit edilmiştir. Ancak sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutlarının Bohr uyarım yarıçapından büyük olması nedeniyle yaklaşımın doğru sonuçlar vermediği belirlenmiştir.

Çizelge 5. 1 SNCA numunelerine ait optik ölçüm sonuçları

Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E_{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası	%85	292 nm	3,55 eV	1,705 nm
SNCA-0,5ZnTe-24h	%80	294 nm	3,50 eV	1,739 nm
SNCA-0,5ZnTe-48h	%77	295 nm	3,48 eV	1,754 nm
SNCA-0,5ZnTe-60h	%76	297 nm	3,45 eV	1,776 nm
SNCA-0,5ZnTe-72h	%75	298 nm	3,43 eV	1,791 nm
SNCA-0,5ZnTe-120h	%70	300 nm	3,40 eV	1,814 nm

Numunelerin artan ısıl işlem süresine bağlı olarak soğurma davranışlarındaki değişimin tespiti için soğurma ölçümleri gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları tüm numuneler için karşılaştırmalı olarak Şekil 5.1’de verilmiştir. Artan ısıl işlem süresiyle, geçirgenlik analizleri sonucu elde edilen soğurma sınırı değerlerinden de görüldüğü gibi, soğurma sınırları yüksek dalga boylarına ötelenmiş, soğurma oranları artmıştır.



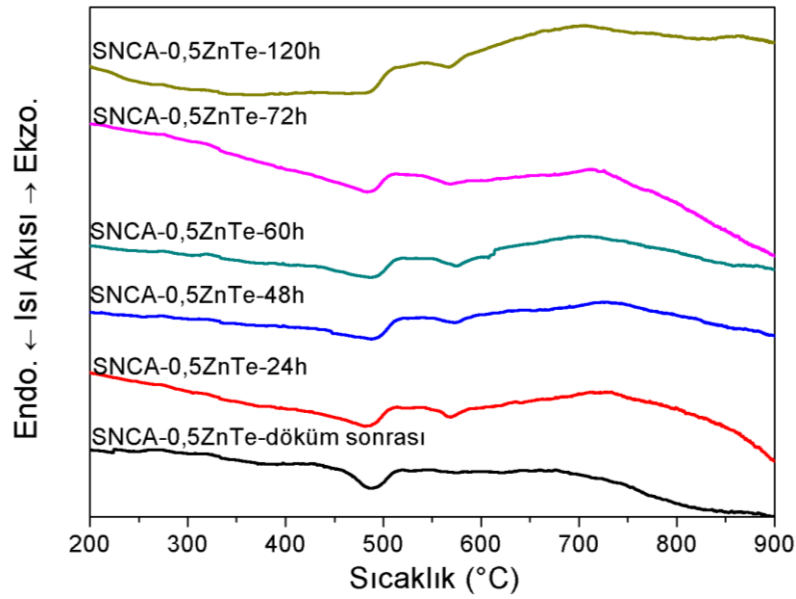
Şekil 5. 1 SNCA numunelerine ait soğurma ölçüm sonuçları

Farklı sürelerde ısıl işleme tabi tutulmuş $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ sistemine ait tüm numunelerin ısıl karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen DTA analizleri sonucu elde edilen termogramlar Şekil 5.2’de ve belirlenen cam geçiş, kristalizasyon onset ve pik

sıcaklıkları Çizelge 5.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, ısıtım işlem sonrası tüm numunelerin cam geçiş reaksiyonu gösterdiği ve ısıtım işlem süresinin artmasına bağlı olarak numunelerin cam geçiş sıcaklıklarının 459 °C’den 473 °C’ye artış gösterdiği belirlenmiştir. Literatürde Molla ve diğ. [42] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ZnTe kuantum noktaların Eu³⁺ katkılı SiO₂-K₂O-CaO-BaO-B₂O₃ cam sisteminde sentezlenmesi sırasında ısıtım işlem süresinin artmasına bağlı olarak cam geçiş sıcaklığında, bu tez çalışmasında gözlemlenen artışa benzer sonuçlar elde edilmiş ve hiçbir numunede ZnTe kristalizasyonuna ait bir kristalizasyon pikine rastlanmamıştır.

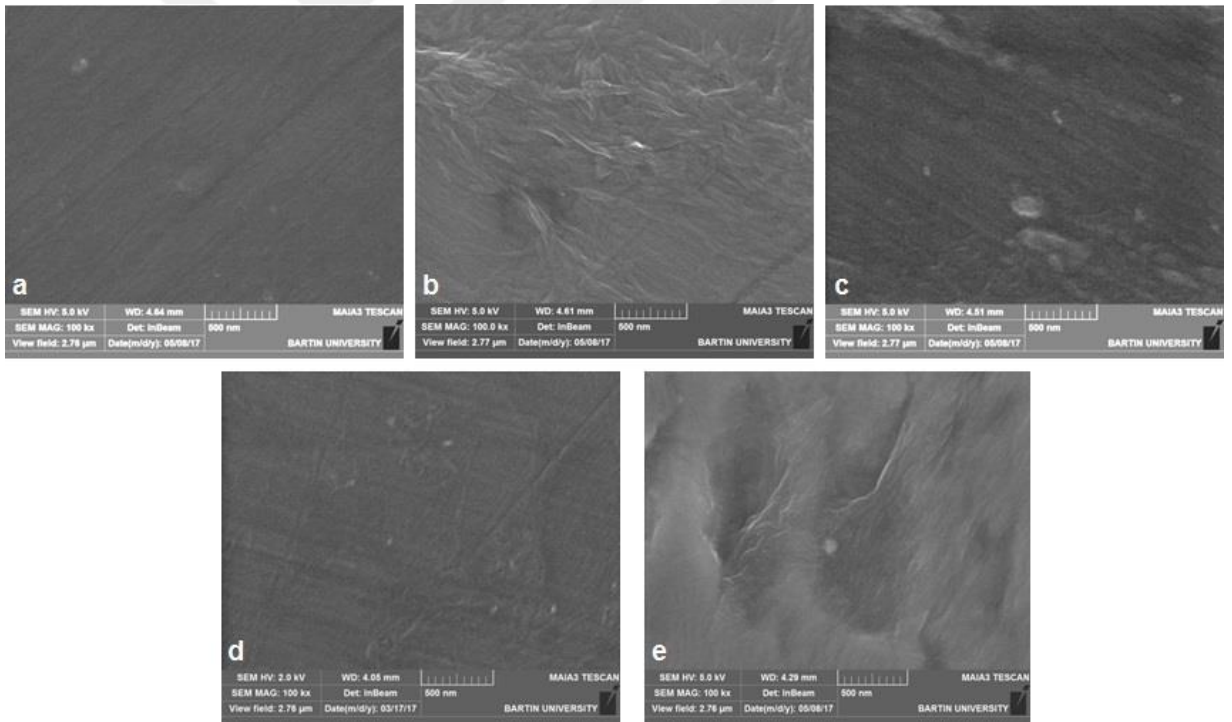
Çizelge 5. 2 SNCA numunelerine ait DTA ölçüm sonuçları

Numune	T _g (°C)
SNCA-0,5ZnTe-döküm sonrası	459
SNCA-0,5ZnTe-24h	463
SNCA-0,5ZnTe-48h	465
SNCA-0,5ZnTe-60h	469
SNCA-0,5ZnTe-72h	471
SNCA-0,5ZnTe-120h	473



Şekil 5. 2 SNCA numunelerine ait DTA termogramları

Farklı ısı işlem süreleri ile yapıda sentezlenen ZnTe kristalitlerinin boyutunda meydana gelen değişimin tespiti amacıyla 100 kx büyütmede gerçekleştirilen SEM analizlerine ait görüntüler $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ sistemi için Şekil 5.3'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Analiz sonucunda amorf matris içerisinde tane boyutları 25 ila 100 nm arasında değişen ZnTe kristalitlerinin sentezlendiği ve artan ısı işlem süresi ile ZnTe kristalitlerinin tane boyutlarının arttığı tespit edilmiştir. Ancak ZnTe kristalitlerinin yapıda kümelenmiş halde bulunması nedeniyle tane boyutundaki bu değişim net olarak görüntülenememiştir. Ayrıca analizlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, benzer ısı işlem süreleri için literatürdeki en yakın içerikli çalışma olan Molla ve diğ. [42] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ZnTe ve Eu^{3+} içeren borosilikat camlarda tespit edilen ZnTe kristalitlerine yakın ancak daha büyük boyutlarda kristalitlerin sentezlendiği belirlenmiştir. Sonuçlar arasındaki farklılıklar cam matrisin ve ZnTe katkı oranının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5. 3 SNCA numunelerine ait SEM görüntüleri a) SNCA-0,5ZnTe-24h, b) SNCA-0,5ZnTe-48h, c) SNCA-0,5ZnTe-60h, d) SNCA-0,5ZnTe-72h, e) SNCA-0,5ZnTe-120h

Uygulanan kontrollü ısı işlemler ile yapıda kristallendirilen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları Etkin Kütle Yaklaşımı ile teorik olarak (Çizelge 5.1) ve SEM analizleri ile deneysel olarak belirlenmeye çalışılmış, ancak yapılan karşılaştırmalar sonucunda ZnTe kristalitlerinin tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapından (5,2 nm) büyük olduğu

değerlerde Etkin Kütle Yaklaşımı'nın doğru sonuçlar vermediği belirlenmiştir. SiO₂-Na₂O-CaO-Al₂O₃ sistemine ait bütün numunelerde ZnTe kristalitlerinin boyutlarının ZnTe Bohr uyarım yarıçapından büyük olması nedeniyle, geliştirilen cam nanokompozitlerin zayıf kuantum kısıtlama özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

5.2 TeO₂-WO₃-Na₂O Sistemine Ait Sonuçların Değerlendirilmesi

TeO₂-WO₃-Na₂O sistemine ait numunelerin geçirgenlik ve soğurma davranışlarının tespiti amacıyla gerçekleştirilen optik analizler sonucu elde edilen geçirgenlik ve soğurma sınırı değerleri ve bu verilerden faydalanılarak hesaplanan optik bant aralığı enerjisi değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3'te verilmiştir.

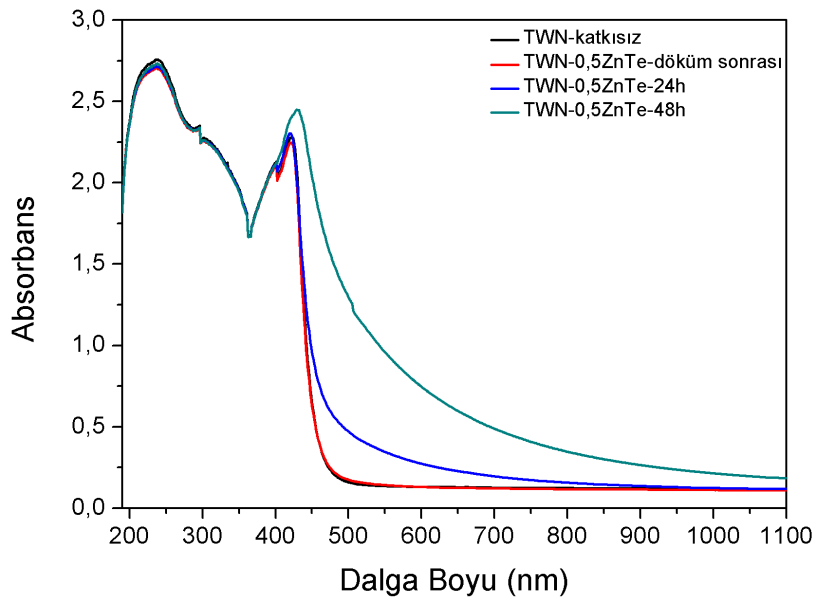
Çizelge 5. 3 TWN sistemine ait numunelerin optik ölçüm sonuçları

Numune	% T (550 nm)	Soğurma Sınırı	E _{opt}	Hesaplanan Tane Boyutu
TWN-katkısız	%72	430 nm	2,62 eV	-
TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası	%70	432 nm	2,60 eV	3,597 nm
TWN-0,5ZnTe-24h	%60	435 nm	2,48 eV	4,130 nm
TWN-0,5ZnTe-48h	%45	450 nm	1,85 eV	-
TWN-1ZnTe-döküm sonrası	%17	435 nm	2,55 eV	3,597 nm

Optik analiz sonuçlarına göre, TWN-katkısız numunesinin geçirgenlik değeri %72 iken, molce %0,5 ve %1 ZnTe katkılılandırılan numunelerin geçirgenlik değerlerinin sırasıyla %70 ve %17 olduğu, cam bileşiminde artan ZnTe oranının geçirgenlik değerlerinin belirgin bir şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Farklı sürelerde ısıtılma tabi tutulan %0,5 ZnTe içeren numunelerin geçirgenlik değerlerinin artan ısıtılma süresiyle belirgin şekilde azaldığı ve soğurma sınırlarının daha yüksek dalga boylarına ötelendiği belirlenmiştir. Ayrıca, ısıtılma süresinin artması ile %0,5 ZnTe içeren numunelerin optik bant aralığı enerjisi değerleri 2,62 eV'den 1,85 eV'ye düşüş gösterdiği ve benzer şekilde artan ZnTe katkı oranı ile de numunelerin optik bant aralığı enerjilerinde bir düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Sentezlenen cam nanokompozitlerin elektriksel ve optik özelliklerde gözlemlenen bu değişimlerin sebebi artan ZnTe katkı oranı ve ısıtılma

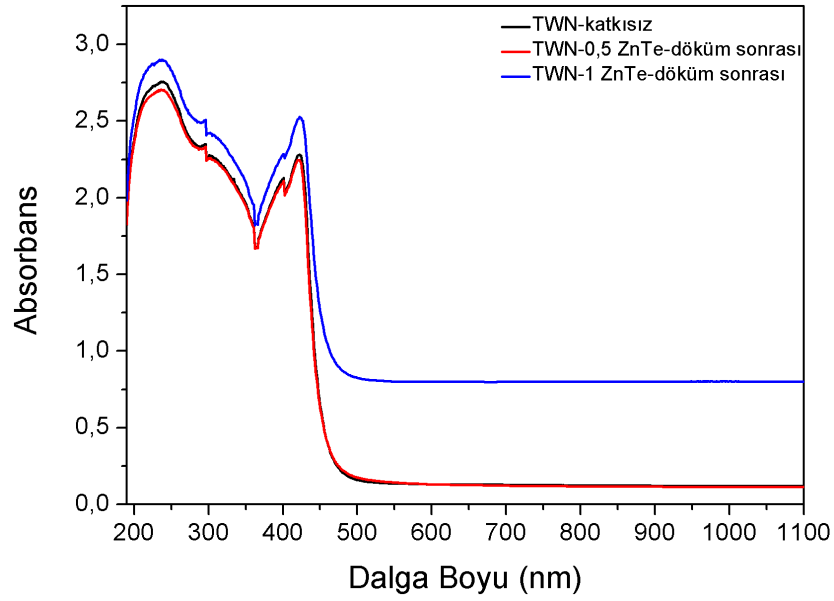
süresine bağlı olarak yapıda bulunan ZnTe kristalitlerinin boyutlarının büyümesi olarak belirlenmiştir.

Isıl işlem süresinin soğurma sınırına etkisini belirlemek için gerçekleştirilen soğurma ölçüm sonuçları, molce %0,5 ZnTe içeren numuneler için Şekil 5.4'te verilmiştir. Artan ısı işlem süresiyle numunelerin mor ötesi bölgede soğurma davranışlarında bir değişim olmadığı, görünür bölgede soğurmanın arttığı ve soğurma sınırının yüksek dalga boylarına ötelendiği belirlenmiştir. Matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları Tauc eğrilerinden elde edilen optik bant aralığı enerjileri ile Etkin Kütle Yaklaşımı kullanılarak teorik olarak hesaplanmış ve artan ısı işlem süresi ve ZnTe katkı oranı ile tane boyutunun arttığı tespit edilmiştir. Ancak ZnTe kristalitlerinin tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapından büyük olması nedeniyle yaklaşımın doğru sonuçlar vermediği belirlenmiştir.



Şekil 5. 4 TWN-katkısız ve TWN-0,5ZnTe numunelerine ait soğurma ölçüm sonuçları

Değişen ZnTe katkı miktarının soğurma sınırına etkisini belirlemek için gerçekleştirilen soğurma ölçüm sonuçları ise Şekil 5.5'te verilmiştir. ZnTe katkı miktarının artması ile, numunelerin hem mor ötesi bölgede hem de görünür bölgede soğurmalarının arttığı, soğurma sınırında ise belirgin bir değişim görülmediği belirlenmiştir.



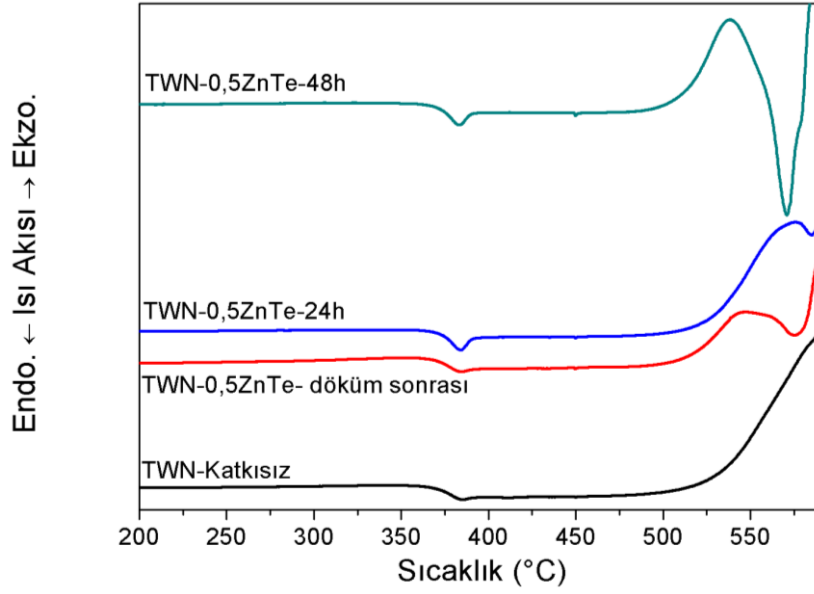
Şekil 5. 5 TWN-katkısız, TWN-0,5ZnTe ve TWN-1 ZnTe numunelerine ait soğurma ölçüm sonuçları

TWN numunelerin ZnTe katkı oranı ve ısı işlem süresine bağlı olarak değişen ısı özelliklerinin karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen DSC analizleri sonucunda belirlenen cam geçiş, kristalizasyon onset ve pik sıcaklık değerleri ise Çizelge 5.4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Elde edilen termogramlar ise Şekil 5.6'da ve Şekil 5.7'de görülmektedir.

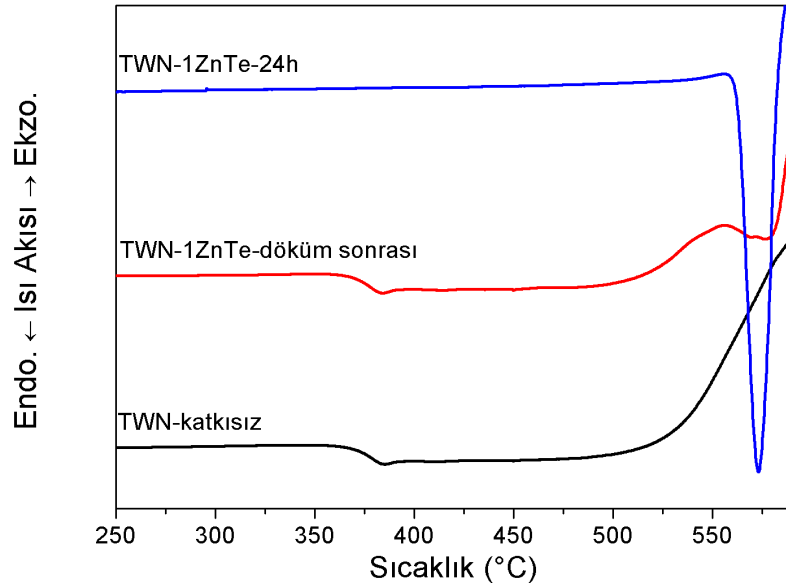
Çizelge 5. 4 TWN numunelerine ait DSC ölçüm sonuçları

Numune	T_g (°C)	T_c (°C)	T_p (°C)
TWN-katkısız	369	-	-
TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası	368	519	547
TWN-0,5ZnTe-24h	370	527	575
TWN-0,5ZnTe-48h	371	511	537
TWN-1ZnTe-döküm sonrası	369	516	555

Ölçümler sonucunda değişen ZnTe katkı oranının ve artan ısı işlem süresinin cam geçiş sıcaklığında önemli bir değişikliğe sebep olmadığı, numunelerin cam geçiş sıcaklıklarının 368 ila 371 °C arasında değiştiği görülmüştür. Kristalizasyon onset sıcaklıklarının 511 ila 527 °C arasında, pik sıcaklıklarının ise 537 ila 575 °C arasında değiştiği belirlenmiştir.



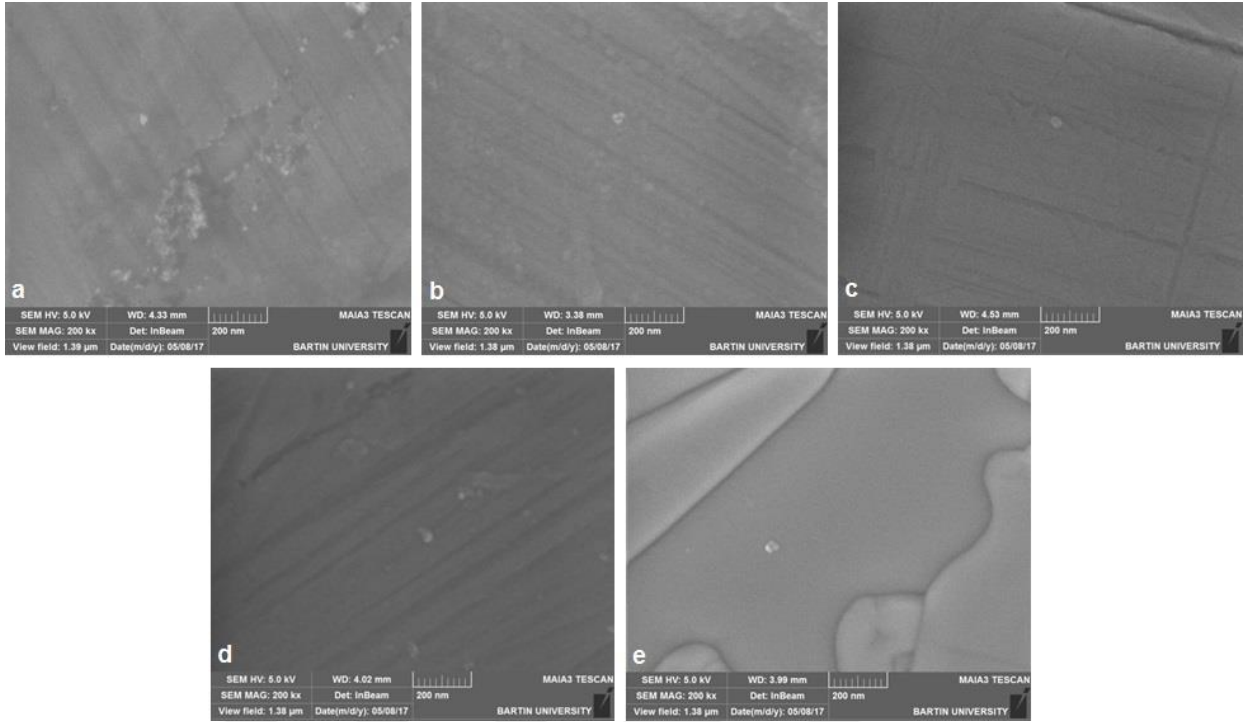
Şekil 5. 6 TWN-katkısız ve TWN-0,5ZnTe numunelerine ait DSC termogramları



Şekil 5. 7 TWN-katkısız ve TWN-1 ZnTe numunelerine ait DSC termogramları

Isıl işlem süresi ve ZnTe katkı oranının tellürit cam matristen kristallendirilen ZnTe kristalitlerinin tane boyutuna etkisinin incelenmesi amacıyla $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ sistemine ait numunelerin 5 kV hızlandırma voltajı kullanılarak gerçekleştirilen 200 kx büyütmedeki SEM görüntüleri Şekil 5.8'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Analizler sonucunda yapıda tane boyutları 15 ila 65 nm arasında değişen ZnTe kristalitlerinin olduğu belirlenmiştir. Artan ısıl işlem süresine bağlı olarak ZnTe kristalitlerin boyutlarının da arttığı belirlenmiştir. Ancak kristalitlerin yapıda kümelenmiş halde bulunması nedeniyle tane boyutundaki değişim belirgin bir şekilde görüntülenememiştir. Artan ZnTe katkı

oranına bağı olarak ise, ZnTe kristalitlerinin ortalama tane boyutlarının artış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5. 8 TWN numunelerine ait SEM görüntüleri a)TWN-0,5ZnTe-döküm sonrası, b)TWN-0,5ZnTe-24h, c)TWN-0,5ZnTe-48h, d)TWN-1ZnTe-döküm sonrası, e)TWN-1ZnTe-24h

Yapıda sentezlenen ZnTe kristalitlerin tane boyutları teorik (Etkin Kütle Yaklaşımı) ve deneysel (SEM analizleri) ile belirlenip karşılaştırılması sonucunda, tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapından büyük olduğu durumlarda Etkin Kütle Yaklaşımı'nın doğru sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. TeO₂-WO₃-Na₂O sistemine ait tüm numunelerde ZnTe kristalitlerinin tane boyutlarının Bohr uyarım yarıçapından büyük olması nedeniyle, cam nanokompozitlerin zayıf kuantum kısıtlama özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ZnTe kuantum noktalar $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ ve $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ cam sistemlerinde kontrollü kristalizasyon ile kristallendirilmiş ve geliştirilen ZnTe katkılı cam nanokompozitlerin kuantum sınırlama özellikleri incelenmiştir. Cam matris, ZnTe katkı oranı ve kristalizasyon süresi parametrelerinin ZnTe kuantum noktaların kristalizasyonuna etkisinin optik, ısı, faz ve mikroyapısal açıdan incelenmesini kapsayan çalışmalar sonucunda, literatürde hakkında bilgi bulunmayan ZnTe kuantum noktaların silika ve tellürit camlardaki kristalizasyon davranışı konusunda ilk sistematik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen genel sonuçlar şu şekildedir:

1. $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ sistemine ait numuneler, molce %70 SiO_2 , %18 Na_2O , %10 CaO , %2 Al_2O_3 ve %0,5 ZnTe içeren cam harmanının ergitilmesi ile sentezlenmiş, döküm işleminin ardından ZnTe kuantum noktaların çekirdeklenmesini ve büyümesini sağlamak amacıyla, cam numuneler ısı analizler sonucunda belirlenen $650\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 0 – 120 saat boyunca ısı işleme tabi tutulmuştur. Döküm sonrası şeffaf ve renksiz haldeki numuneler, uygulanan ısı işlem süresinin artmasına bağlı olarak bej renge dönüşmüştür.

2. SNCA numunelerine uygulanan optik ölçümler sonucunda artan ısı işlem süresi ile numunelerin geçirgenlik değerlerinin ve optik bant aralığı enerjilerinin azaldığı, soğurma sınırlarının ise yüksek dalga boylarına ötelendiği tespit edilmiştir. Gözlemlenen bu değişimin sebebinin artan ısı işlem süresiyle cam matris içerisindeki ZnTe yarı iletken kristalitlerinin boyutlarının büyümesinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

3. SNCA numunelere uygulanan ısı analizler sonucunda artan ısı işlem süresi ile yapıda sentezlenen ZnTe kristalitlerinin boyutlarının artmasına bağlı olarak numunelerin cam geçiş sıcaklıklarının arttığı tespit edilmiştir.

4. Mikroyapı analizleri sonucunda SNCA numunelerinde ısı işlem süresine bağlı olarak tane boyutu 25 ila 100 nm arasında değişen ZnTe kristalitlerinin sentezlendiği ve artan ısı işlem süresiyle ZnTe kristalitlerinin ortalama tane boyutlarının arttığı belirlenmiştir. Ancak kristalitlerin yapıda kümelenmiş halde bulunması nedeniyle tane boyutundaki artış belirgin bir şekilde görüntülenememiştir.

5. SEM analizleri sonucunda deneysel olarak belirlenen ZnTe kristalitlerinin tane boyutları, teorik olarak da Etkin Kütle Yaklaşımı ile hesaplanmış, ancak tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapından büyük olması nedeniyle bu yaklaşım doğru sonuçlar vermemiştir.

6. $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3$ sistemine ait tüm numunelerin, Bohr uyarım yarıçapından büyük tane boyutuna sahip ZnTe kristalitlerinin oluşumuna bağlı olarak, zayıf kuantum kısıtlama özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

7. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ cam sistemine ait numuneler, molce %60 TeO_2 , %30 WO_3 ve %10 Na_2O bileşimindeki ZnTe katkısız ve molce %0,5 ve 1 oranlarında ZnTe katkılandırılmış 3 farklı cam harmanının ergitilmesi ile sentezlenmiştir. Döküm sonrası molce %0,5 ZnTe katkılandırılmış numuneler yapıda ZnTe kuantum noktalarının oluşumunu sağlamak amacıyla 440 °C'de 24 ve 48 saat boyunca, molce %1 ZnTe katkılı numuneler ise 550 °C'de 24 saat boyunca ısı işleme tabi tutulmuştur. Katkısız ve %0,5 ZnTe katkılı numuneler döküm sonrası şeffaf ve açık sarı renkte cam görüntüsünde elde edilmiş, numuneler arasında belirgin bir renk farkı gözlemlenmemiştir. Uygulanan ısı işlemler sonrası, yapıda oluşan ve tane boyutları büyüyen ZnTe kristalitleri nedeniyle numunelerin şeffaflığı azalırken, renkleri açık sarıdan koyu sarıya dönüşmüştür. %1 ZnTe katkılı numune ise, döküm sonrasında yarı şeffaf camsı görüntüde elde edilmiş, uygulanan ısı işlem sonrası ise numune tamamen opak kristalin görüntü almıştır. Bu durumun döküm sonrası soğuma sırasında yapıda ZnTe kristalitlerinin oluşmasından ve uygulanan ısı işlem sonrasında ise numunenin tamamen kristallenmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

8. Yapılan optik analizler sonucunda molce %0,5 ZnTe katkı oranına sahip TWN numunelere uygulanan ısı işlem süresinin artması ile, numunelerin geçirgenlik değerlerinin ve optik bant aralığı enerji değerlerinin azaldığı ve soğurma sınırlarının ise daha yüksek dalga boylarına ötelendiği tespit edilmiştir. Tespit edilen bu değişimlerin sebebi numunelere uygulanan ısı işlem süresinin artmasına bağlı olarak yapıdaki ZnTe kristalitlerinin boyutlarının büyümesi olarak belirlenmiştir. ZnTe katkı oranının artması ise, geçirgenlik değerlerinin azalmasına, soğurma sınırlarının daha yüksek dalga boylarına ötelenmesine ve optik bant aralığı enerjilerinin azalmasına sebep olmuştur.

9. TWN numunelere uygulanan ısı analizler sonucunda molce %1 ZnTe katkılı numunelerin artan ısı işlem süresi ile cam geçiş sıcaklığının arttığı, ancak kristalizasyon onset veya pik sıcaklıklarında düzenli bir değişimin gözlenmediği belirlenmiştir. ZnTe katkı oranının artması ise numunelerin cam geçiş sıcaklığını belirgin bir şekilde etkilememiş, kristalizasyon pik sıcaklıklarında ise artışa neden olmuştur.

10. Mikroyapı incelemeleri sonucunda TWN numunelerin yapısında tane boyutu 15 ila 65 nm arasında değişen ZnTe kristalitleri tespit edilmiştir. Ortalama tane boyutunun artan ısı işlem süresine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Artan ZnTe katkı oranı ile birlikte matris içerisinde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin ortalama tane boyutunun da arttığı saptanmıştır.

11. TWN numunelerde sentezlenen ZnTe kristalitlerinin boyutları teorik olarak Etkin Kütle Yaklaşımı ve deneysel olarak SEM analizleri ile belirlenmiş, ancak tane boyutunun Bohr uyarım yarıçapından büyük olması nedeniyle Etkin Kütle Yaklaşımı ile teorik olarak doğru sonuçlar elde edilemediği görülmüştür.

12. $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Na}_2\text{O}$ cam sistemine ait tüm numunelerin, oluşan Bohr uyarım yarıçapından büyük boyuttaki ZnTe kristalitleri nedeniyle, zayıf kuantum kısıtlama özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Doremus, R.H., (1994). Glass Science (2. Baskı), John Wiley & Sons, Kanada.
- [2] Elliott, S.R., (1983). Physics of Amorphous Materials, John Wiley & Sons, New York.
- [3] Rao, K.J., (2002). Structural Chemistry of Glasses, Elsevier, Amsterdam.
- [4] Schmelzer, J. ve Gutzow, I., (2011). Glasses and the Glass Transition. Wiley-VCH, Weinheim.
- [5] Scholze, H., (1991). Glass: Nature, Structure and Properties, Springer-Verlag, New York.
- [6] Shelby, J., (2005). Introduction to Glass Science and Technology (2. Baskı), The American Ceramic Society, Inc., Cambridge.
- [7] Varshneya, A., (1994). Fundamentals of Inorganic Glasses. Academia Press, San Diego.
- [8] Vogel, W., (1994). Glass Chemistry (2. Baskı), The American Ceramic Society, Berlin.
- [9] Fluegel, A., (2007). "Glass Viscosity Calculation Based on a Global Statistical Modeling Approach", Glass Technol.: Europ. J. Glass Sci. Technol. A, 48, 1: 13-30.
- [10] Karmakar, B., (2016). Glass Nanocomposites: Synthesis, Properties and Applications, Elsevier, Oxford.
- [11] Simo, A., Polte, J., Pfänder, N., Vainio, U., Emmerling, F. ve Rademann, K., (2012). Formation Mechanism of Silver Nanoparticles Stabilized in Glassy Matrices", Journal of the American Chemical Society, 134(iii): 18824–18833.
- [12] Chakraborty, P., (1998). "Metal nanoclusters in glasses as non-linear photonic materials", Journal of Materials Science, 33: 2235–2249.
- [13] Eichelbaum, M., Rademann, K., Hoell, A., Tatchev, D.M., Weigel, W., Stößer, R. ve Pacchioni, G., (2008). "Photoluminescence of atomic gold and silver particles in soda-lime silicate glasses", Nanotechnology, 19: 135701.

- [14] Hwang, L.C., Lee, S.C. ve Wen, T.C., (2003). "Nonlinear absorption and refraction in lead glasses: enhanced by the small metal particle dispersions", *Optics Communications*, 228: 373–380.
- [15] Olbright, G.R., Peyghambarian, N., Koch, S.W. ve Banyai, L., (1987). "Optical Nonlinearities of glasses doped with semiconductor microcrystallites", *Optics Letters*, 12(6): 413–415.
- [16] Peyghambarian, N., Fluegel, B., Hulin, D., Migus, A., Joffre, M., Antonetti, A. ve Lindberg, M., (1989). "Femtosecond optical nonlinearities of CdSe quantum dots", *Journal of Quantum Electronics*, 25(12): 2516–2522.
- [17] Reisfeld, R. ve Minti, H., (1994). "Nonlinear properties of semiconductor quantum dots and organic molecules in glasses prepared by the sol-gel method", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2: 641–645.
- [18] Uchida, K., Kaneko, S., Omi, S., Hata, C., Tanji, H., Asahara, Y. ve Nakamura, A., (1994). "Optical nonlinearities of a high concentration of small metal particles dispersed in glass: copper and silver particles", *Journal of the Optical Society of America B*, 11(7): 1236–1242.
- [19] Freestone, I., Meeks, N., Sax, M. ve Higgitt, C., (2007). "The Lycurgus Cup - A Roman Nanotechnology", *Gold Bulletin*, 40(4): 270–277.
- [20] Abdel-Baki, M. ve El-Diasty, F., (2013). "Glasses for Photonic Technologies", *International Journal of Optics and Applications*, 3(6): 125–137.
- [21] Babentsov, V. ve Sizov, F., (2008). "Defects in quantum dots of IIB-VI semiconductors", *Opto-Electronics Review*, 16(3): 208–225.
- [22] Bera, D., Qian, L., Tseng, T.K. ve Holloway, P.H., (2010). "Quantum dots and their multimodal applications: A review", *Materials*, 3(4): 2260–2345.
- [23] Edelstein, A.D. ve Cammarata, R.C., (1996). *Nanomaterials : Synthesis, Properties and Applications*, IOP Publishing, Bristol.
- [24] Sattler, K.D., (2014). *Handbook of Nanophysics*, Igarss, Boca Raton.
- [25] Stokes, E.B., Stiff-Roberts, A.D. ve Dameron, C., (2006). "Quantum Dots in Semiconductor Optoelectronic Devices", *Electrochemical Society*, winter, 23–27.
- [26] Borovitskaya, E. ve Shur, M.S., (2002). *Quantum Dots: Selected Topics in Electronics and Systems*, World Scientific, Singapur.
- [27] Chakraborty, T., (1999). *Quantum Dots: A Survey of the Properties of Artificial Atoms*, 1999, 348.
- [28] Klimov, V.I., (2010). *Nanocrystal Quantum Dots (2. Baskı)*, CRC Press, Boca Raton.
- [29] Roduner, E., (2006). *Nanoscale Materials: Size-Dependent Phenomena*, RSC Publishing, Cambridge.
- [30] Smith, A.M. ve Nie, S., (2010). "Semiconductor nanocrystals: Structure, properties, and band gap engineering", *Accounts of Chemical Research*, 43(2): 190–200.
- [31] Prasad, P.N., (2004). *Nanophotonics*, John Wiley & Sons, Kanada.

- [32] Sattler, K.D., (2011). Handbook of Nanophysics: Nanoparticles and Quantum Dots, CRC Press, Florida.
- [33] Dantas, N.O., Silva, A.S., Neto, E.S.F. ve Lourenço, S.A., (2012). "Thermal activated energy transfer between luminescent states of Mn²⁺-doped ZnTe nanoparticles embedded in a glass matrix", *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14(10): 3520.
- [34] Dantas, N., Silva, A., Ayta, W., Silva, S., Morais, P., Pereira-da-Silva, M. ve Marques, G., (2012). "Dilute magnetism in Zn_{1-x}Mn_xTe nanocrystals grown in a glass template", 541: 44–48.
- [35] Falci, R.F., Freitas, A.M., Silva, G.H., Pinheiro, A.S., Dantas, N.O., Anjos, V. ve Bell, M.J.V., (2016). "Quantum efficiency of Yb³⁺-ZnTe co-doped phosphate glass system", *Journal of Luminescence*, 176: 381-386.
- [36] Freitas, A.M., Bell, M.J.V, Anjos, V., Pinheiro, A.S. ve Dantas, N.O., (2016). "Thermal analyzes of phosphate glasses doped with Yb³⁺ and ZnTe nanocrystals", *Journal of Luminescence*, 169: 353–358.
- [37] Ghaemi, B., Zhao, G., Jie, G., Xi, H., Li, X., Wang, J. ve Han, G., (2011). "A study of formation and photoluminescence properties of ZnO quantum dot doped zinc-alumino-silicate glass ceramic", *Optical Materials*, 33(6): 827–830.
- [38] Han, K., Yoon, S. ve Chung, W.J., (2015). "CdS and CdSe Quantum Dot-embedded Silicate Glasses for LED Color Converter", *International Journal of Applied Glass Science*, 108: 103–108.
- [39] Heo, J. ve Liu, C., (2007). "Pbs quantum-dots in glass matrix for universal fiber-optic amplifier", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 18: 135–139.
- [40] Ma, D.W., Cheng, C., Zhang, Y.N. ve Xu, Z.S., (2014). "Preparations of PbSe quantum dots in silicate glasses by a melt-annealing technique", *Optical Materials*, 37(C): 834–839.
- [41] Planelles-Arago, J., Julian-Lopez, B., Cordoncillo, E., Escribano, P., Pelle, F., Viana, B. ve Sanchez, C., (2008). "Lanthanide doped ZnS quantum dots dispersed in silica glasses: an easy one pot sol-gel synthesis for obtaining novel photonic materials", *Journal of Materials Chemistry*, 18: 5193–5199.
- [42] Molla, A.R., Tarafder, A., Dey, C. ve Karmakar, B., (2014). "Synthesis and properties of ZnTe and Eu³⁺ ion co-doped glass nanocomposites", *Journal of Applied Physics*, 116(16): 1–13.
- [43] Shim, S.M., Liu, C., Kwon, Y.K. ve Heo, J., (2010). "Lead Sulfide Quantum Dots formation in glasses controlled by Erbium Ions", *Journal of the American Ceramic Society*, 93(10): 3092–3094.
- [44] Silva, A.S., Lourenço, S.A., Pereira-Da-Silva, M.A., Duarte, J.L., Renzi, W., Alcalde, A.M. ve Dantas, N.O., (2014). "Annealing time on carrier dynamics of ZnTe nanoparticles embedded in a near ultraviolet-transparent glass", *Chemical Physics Letters*, 599: 146–153.

- [45] Wageh, S., (2011). "Optical Properties and Activation Energy of A Novel System of CdTe Nanoparticles Embedded in Phosphate Glass Matrix", *Journal of Modern Physics*, 2(8): 913–921.
- [46] Wise, F.W., (2000). "Lead salt quantum dots: The limit of strong quantum confinement", *Accounts of Chemical Research*, 33(11): 773–780.
- [47] Xu, K. ve Heo, J., (2013). "Luminescence enhancement of CdS quantum dots in glass by Ag⁺ ion exchange", *Journal of the American Ceramic Society*, 96(4): 1138–1142.
- [48] Yoffe, A.D., (1993). "Low-dimensional systems: quantum size effects and electronic properties of semiconductor microcrystallites (zero-dimensional systems) and some quasi-two-dimensional systems", *Advances in Physics*, 42(2): 173-262.
- [49] Dong, G., Wang, H., Chen, G., Pan, Q. ve Qiu, J., (2015). "Quantum Dot-Doped Glasses and Fibers: Fabrication and Optical Properties", *Frontiers in Materials*, 2: 1–14.
- [50] Heiss, W.D., (2005). *Quantum Dots: a Doorway to Nanoscale Physics*, Springer, Berlin.
- [51] Leppert, V.J., Risbud, S.H. ve Fendorf, M.J., (1997). "High-resolution electron microscopy and microanalysis of ZnSe quantum dots in glass matrices", *Philosophical Magazine Letters*, 75: 29–34.
- [52] Liu, H., Liu, Q. ve Zhao, X., (2007). "Crystal growth and optical properties of CdS-doped lead silicate glass", *Materials Characterization*, 58(1): 96–100.
- [53] Yükselici, H., Allahverdi, Ç., Aşıkoğlu, A., Ünlü, H., Baysal, A., Çulha, M. ve Athalin, H., (2012). *Optical Studies of Semiconductor Quantum Dots*, Springer-Verlag, Berlin.
- [54] Durmuşoğlu, E.G., (2016), *Kuantum Nokta*, https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi160/d160_3134.pdf, 20 Eylül 2016.
- [55] Kramer, I.J. ve Sargent, E.H., (2011). "Colloidal quantum dot photovoltaics: A path forward", *ACS Nano*, 5(11): 8506–8514.
- [56] Mashford, B., Baldauf, J., Nguyen, T.L., Funston, A.M. ve Mulvaney, P., (2011). "Synthesis of quantum dot doped chalcogenide glasses via sol-gel processing", *Journal of Applied Physics*, 109(9): 1–7.
- [57] Shen, H., Wang, H., Chen, X., Niu, J.Z., Xu, W., Li, X.M. ve Li, L.S., (2010). "Size-and shape-controlled synthesis of CdTe and PbTe nanocrystals using tellurium dioxide as the tellurium precursor", *Chemistry of Materials*, 22(16): 4756–4761.
- [58] Carder, D.A., Markwitz, A., Reeves, R.J., Kennedy, J. ve Fang, F., (2013). "Atomic retention and near infrared photoluminescence from PbSe nanocrystals fabricated by sequential ion implantation and electron beam annealing", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 307: 154–157.
- [59] Lee, J.K., Tewell, C.R., Schulze, R.K., Nastasi, M., Hamby, D.W., Lucca, D.A. ve Hong, K.S., (2005). "Synthesis of ZnO nanocrystals by subsequent implantation of Zn and O species", *Applied Physics Letters*, 86(18): 1–3.

- [60] Meldrum, A., Boatner, L. ve White, C., (2001). "Nanocomposites formed by ion implantation: Recent developments and future opportunities", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 178(1–4): 7–16.
- [61] El-Rabaie, S., Taha, T.A. ve Higazy, A.A., (2015). "Characterization and growth of lead telluride quantum dots doped novel fluorogermanate glass matrix", *Materials Science in Semiconductor Processing*, 30: 631–635.
- [62] Rocksby, H.P., (1932). "The Colour of Selenium Ruby Glasses", *J. Soc. Glass Tech.* 16, 171.
- [63] Jose, G., Amrutha, K.A., Toney, T.F., Thomas, V., Joseph, C., Ittyachen, M.A. ve Unnikrishnan, N.V., (2006). "Structural and optical characterization of $\text{Eu}^{3+}/\text{CdSe}$ nanocrystal containing silica glass", *Materials Chemistry and Physics*, 96(2–3): 381–387.
- [64] Fernandez, Y.N. ve Vasilevskiy, M.I., (2013). *Optical Properties of Bulk and Nanocrystalline Cadmium Telluride*, CRC Press, Boca Raton.
- [65] Park, W.J., Liu, C. ve Heo, J., (2015). "Direct Imaging of the Distribution of Nd^{3+} Ions in Glasses Containing PbS Quantum Dots", *Journal of the American Ceramic Society*, 98(7): 2074–2077.
- [66] Ma, D.W., Zhang, Y.N., Xu, Z.S. ve Cheng, C., (2014). "Influence of intermediate ZnO on the crystallization of PbSe quantum dots in silicate glasses", *Journal of the American Ceramic Society*, 97(8): 2455–2461.
- [67] Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. ve Sutton, D.J., (2014). "Heavy Metals Toxicity and the Environment", *NIH*, 101: 133–164.
- [68] Dantas, N.O., Dos Santos Silva, A., Da Silva, S.W., César De Morais, P., Pereira-Da-Silva, M.A. ve Eugênio Marques, G., (2010). "ZnTe nanocrystal formation and growth control on UV-transparent substrate", *Chemical Physics Letters*, 500(1–3): 46–48.
- [69] Yu, Y., Chen, D., Huang, P., Lin, H. ve Wang, Y., (2010). "Structure and luminescence of Eu^{3+} doped glass ceramics embedding ZnO quantum dots", *Ceramics International*, 36(3): 1091–1094.
- [70] Du, X., Zhang, L., Dong, G., Sharafudeen, K., Wen, J., Chen, D. ve Qiu, J., (2014). "Coloration and Nonlinear Optical Properties of ZnTe Quantum Dots in $\text{ZnO}-\text{TeO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ Glasses", *Journal of the American Ceramic Society*, 97(1): 185–188.
- [71] Neto, M.C., Silva, G.H., Carmo, a.P., Pinheiro, a.S., Dantas, N.O., Bell, M.J.V. ve Anjos, V., (2013). "Optical properties of oxide glasses with semiconductor nanoparticles co-doped with rare earth ions", *Chemical Physics Letters*, 588: 188–192.
- [72] Çelikkbilek, M., Ersundu, A.E., Zayim, E.O. ve Aydin, S., (2015). "Thermochromic behavior of tellurite glasses", *Journal of Alloys and Compounds*, 637: 162–170.
- [73] Kim, E., Jiang, Z.T. ve No, K., (2000). "Measurement and Calculation of Optical Band Gap of Chromium Aluminum Oxide Films", *Japanese Journal of Applied Physics*, 39: 4820–4825.

- [74] Yakuphanoglu, F., Barim, G. ve Erol, I., (2007). "The effect of FeCl₃ on the optical constants and optical band gap of MBZMA-co-MMA polymer thin films", *Physica B: Condensed Matter*, 391(1): 136–140.
- [75] Brus, L.E., (1984). "Electron–electron and electron-hole interactions in small semiconductor crystallites: The size dependence of the lowest excited electronic state", *The Journal of Chemical Physics*, 80(9): 4403–4409.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İpek TUNÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.04.1992 / Marmaris
Yabancı Dili : İngilizce (İleri Seviye), Almanca (Orta Seviye)
E-posta : ipekk.tunc@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Met. ve Malz. Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Met. ve Malz. Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lise	Sayısal	Bornova Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017 - Halen	İstanbul Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
07.2015 - 09.2015	Werner Harfmann GmbH	Stajyer Mühendis
07.2013 - 08.2013	CMS Jant ve Makine Sanayi A.Ş.	Stajyer Mühendis

YAYINLARI

Bildiri

1. Tunç İ., Ersundu A. E., Aydın S. ve Çelikkbilek Ersundu M., (2017). "Synthesis and Growth Kinetic Studies of ZnTe Quantum Dot-doped Glass Nanocomposites", 12th International Symposium on Crystallization in Glasses and Liquids, Segovia, İspanya.

Proje

1. YTÜ Bilimsel Araştırmalar Projesi, "ZnTe Kuantum Nokta Katkılı Camların Geliştirilmesi ve Kuantum Kısıtlama Özelliklerinin İncelenmesi", Araştırmacı, (2016 – 2017).

