

KILIS 7 ARALIK UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DC MANYETİK ALAN SIÇRATMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN Co₉₀Fe₁₀
NANO FİLMLEİN YAPISAL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

M. İbrahim COŞKUN

DANIŞMAN: Prof. Dr. Abdulkadir YILDIZ

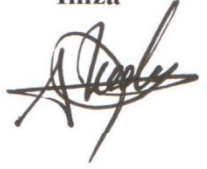

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2011

KILIS

KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Abdulkadir YILDIZ danışmanlığında, M. İbrahim COŞKUN tarafından hazırlanan “DC Manyetik Alan Sıçratma Tekniği ile Üretilen Co₉₀Fe₁₀ Nano Filmlerin Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 27/07/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Prof.Dr. Abdulkadir YILDIZ (Kilis 7 Aralık Üni. Fen-Edebiyat Fak. Fizik ABD)	
Üye	Yrd.Doç.Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE (Kilis 7 Aralık Üni. Fen-Edebiyat Fak. Fizik ABD)	
Üye	Yrd.Doç.Dr. Hatice ASIL (Kilis 7 Aralık Üni. Eğitim Fak. İlköğretim ABD)	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../201... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DC MANYETİK ALAN SIÇRATMA TEKNİĞİ İLE ÜRETİLEN Co₉₀Fe₁₀ NANO FİLMLERİN YAPISAL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

M. İbrahim COŞKUN

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdulkadir YILDIZ

Yıl: 2011

Sayfa: 56

Bu çalışmada 6 nm Cu, Co, Au, Ni₈₀Fe₂₀ alttabakalar üzerine DC magnetron sıçratma sistemi ile depolanmış 40 nm Co₉₀Fe₁₀ nano filmlerin yapısal ve yumuşak mıknatıslık özellikleri incelenmiştir. Filmlerin histeresiz eğrilerinin çıkarılmasında Manyeto-Optik Kerr Manyetometresi (MOKE) kullanılmıştır. Filmlerin manyetik domeinlerinin gözlenmesi için manyetik kuvvet mikroskobu (MFM) kullanılmıştır. Yapısal özelliklerin incelenmesi için GI-XRD kullanılmıştır. MOKE analizi sonuçları, Au, NiFe, Cu alttabakaların CoFe filmin koersivitesini (H_c) dikkate değer bir şekilde düşürdüğünü göstermektedir. MFM analizi sonuçları filmlerin manyetik domein formasyonunun, histeresiz eğrileriyle uyumlu olduğunu göstermektedir. GI-XRD sonuçları alttabakaların filmlerin yapısını etkilediğini ortaya çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler: CoFe film, yumuşak mıknatıslık özellikleri, manyetik okuma-yazma kafaları

ABSTRACT

MSc. Thesis

ANALYSIS OF STRUCTURAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ NANO FILMS PREPARED BY DC MAGNETRON SPUTTERING

M. İbrahim COŞKUN

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Abdulkadir YILDIZ

Year: 2011 Page: 56

In this study we analyzed structural and soft magnetic properties of 40 nm $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ nano films on 6 nm Cu, Co, Au, $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ underlayers by DC magnetron sputtering. Magneto Optic Kerr Effect Magnetometry was used to determine hysteresis loops of the films. Magnetic Force Microscopy (MFM) was used to observe magnetic domains of the films. To obtain structural properties of films, GI-XRD was used. The MOKE results indicate that Au, NiFe and Cu underlayers significantly decreased coercivity H_c of $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$. MFM images of films show magnetic domain configuration of films that perfectly matching with magnetic hysteresis. It can be seen from GI-XRD results that underlayers change the film texture.

Key Words: CoFe sputtered films, soft magnetic materials, magnetic recording heads

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof.Dr. Abdulkadir YILDIZ'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, hem bir çok konuda hem de çalışmalarımı ilgili malzeme temininde yardımını esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd.Doç.Dr. Şükrü ÇAKMAKTEPE'ye de şükranlarımı sunarım.

M. İbrahim COŞKUN
Kilis, Temmuz 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	viii
GRAFİKLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL KAVRAMLAR	7
2.1. Manyetik Malzemeler	7
2.2. Makroskopik Boyutta Manyetizm	9
2.3. Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması	9
2.3.1. Diamanyetizma	10
2.3.2. Paramanyetizma	10
2.3.3. Antiferromanyetizma.....	10
2.3.4. Ferrimanyetizma	11
2.3.5. Ferromanyetizma.....	11
2.4. Manyetizasyon (Histeresiz) Eğrisi	12
2.5. Manyetik Domeinler	14
2.6. Domein Duvarı.....	16
2.7. Manyeto-Optik Etkiler	19
2.8. Manyetostriksiyon.....	20
3. MATERYAL VE METOD	21
3.1. Sıçratma Tekniği ve DC Magnetron Sıçratma.....	21
3.2. X-Işını Difraksiyonu (XRD).....	24
3.3. Manyetik Kuvvet Mikroskobu (MFM)	27
3.4. Manyeto-Optik Kerr Manyetometresi (MOKE).....	30
3.5. CoFe Filmlerinin Üretimi	33
3.5.1. 40 nm CoFe filminin üretimi	33

3.5.2. 6 nm Au/ 40 nm CoFe filminin üretimi.....	33
3.5.3. 6 nm Cu/ 40 nm CoFe filminin üretimi.....	34
3.5.4. 6 nm Cr/ 40 nm CoFe filminin üretimi.....	34
3.5.5. 6 nm NiFe/ 40 nm CoFe filminin üretimi.....	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
4.1. XRD Sonuçları.....	36
4.2. Manyetizasyon Ölçüm Sonuçları.....	39
4.3. MFM Analiz Sonuçları.....	43
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	50
6. KAYNAKLAR	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

A	: Amper
Å	: Angström
B	: Manyetik alan şiddeti
H _c	: koersivite
i	: Akım şiddeti
J	: Akım yoğunluğu
k	: Dalga vektörü
λ	: Dalgaboyu
M	: Manyetizasyon
m	: Kütle
χ	: Manyetik alınganlık

2. Kısaltmalar

AC	: Alternatif akım
AFM	: Atomik kuvvet mikroskoku
DC	: Doğru akım
MFM	: Manyetik kuvvet mikroskoku
MOKE	: Manyeto-Optik Kerr etkisi manyetometresi
TEM	: Geçirmeli elektron mikroskoku
VSM	: Titreşimli örnek manyetometresi
XRD	: X-ışını kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yüklü parçacığın oluşturduğu manyetik moment.....	7
Şekil 2.2. Elektronun spin manyetik momenti	8
Şekil 2.3. Antiferromanyetik maddelerde (a) Manyetik momentlerin (b) Manyetizasyon vektörünün yönelimi	11
Şekil 2.4. Ferrimanyetik maddelerde (a) Manyetik momentlerin (b) Manyetizasyon vektörünün yönelimi	11
Şekil 2.5. Madde türüne göre manyetik momentlerin sıralanışı.....	12
Şekil 2.6. Manyetizasyon (Histeresiz) eğrisi.....	13
Şekil 2.7. (a) Sert mıknatıslık özelliklerine sahip malzemenin (b) Yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemenin histeresiz eğrisi	14
Şekil 2.8. Maddenin (a) tek domein (b) çift domein (c) çoklu domein konfigürasyonu	15
Şekil 2.9. Manyetik domeinlerin (a) mıknatıslanmamış (b) uygulanan bir dış B_0 manyetik alanla mıknatıslanmış malzemedeki konfigürasyonu.....	16
Şekil 2.10. (a) Domeinler (b) domein duvarı	17
Şekil 2.11. Domein duvarı (a) dış manyetik alan yokken (b) bir dış manyetik alan uygulandığında	17
Şekil 2.12. (a) Bloch (b) Neel tipi domein duvarı	18
Şekil 2.13. Domein duvarı türüne göre (a) yüksek değiş-tokuş, düşük anizotropi (b) düşük değiş-tokuş, yüksek anizotropi durumunun oluşumu.....	19
Şekil 2.14. (a) Polar (b) boyuna (c) enine Kerr etkisi.....	20
Şekil 3.1. Sıçratma cihazının çalışma şeması.....	23
Şekil 3.2. Bragg saçılması.....	26
Şekil 3.3. MFM analizi	29
Şekil 3.4. Kullanılan MOKE cihazının şeması.....	32
Şekil 4.1. CoFe filmin 3 boyutlu MFM görüntüsü.....	44
Şekil 4.2. CoFe filmin MFM görüntüsü.....	45
Şekil 4.3. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filmin 3 boyutlu MFM görüntüsü.....	45
Şekil 4.4. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filmin MFM görüntüsü	46
Şekil 4.5. Cr (6 nm)/CoFe (40 nm) filmin MFM görüntüsü	47
Şekil 4.6. Cu (6 nm)/CoFe (40 nm) filmin MFM görüntüsü.....	48
Şekil 4.7. NiFe (6 nm)/CoFe (40 nm) filmin MFM görüntüsü	48

RESİMLER DİZİNİ

Resim 3.1. ATC 2200 altı hedefli AJA sıçratma cihazı.....	24
Resim 3.2. Rigaku Ultimate IV XRD cihazı.....	25
Resim 3.3. Bilgisayar kontrol ünitesi ile AFM cihazı	28
Resim 3.4. AFM (MFM) cihazı.....	30
Resim 3.5. MOKE cihazı	31
Resim 3.6. Kullanılan MOKE cihazı	32

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik 4.1. CoFe (40 nm) filminin XRD analizi	36
Grafik 4.2. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi	37
Grafik 4.3. Cu (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi	37
Grafik 4.4. Cr (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi	38
Grafik 4.5. NiFe (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi	39
Grafik 4.6. CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi	40
Grafik 4.7. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi	41
Grafik 4.8. NiFe (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi	42
Grafik 4.9. Cr (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi	42
Grafik 4.10. Cu (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Sıçratma parametreleri.....	35
Çizelge 5.1. Örneklerin koersivite değerleri	50

1. GİRİŞ

1900'lü yıllardan itibaren üretilen manyetik filmler, bilişim teknolojisinin hızla gelişmesiyle son yıllarda oldukça araştırılan bir dal haline geldi. Bugün bilişim teknolojisi daha yüksek kapasiteli, daha hızlı ve daha küçük boyutlu manyetik kayıt cihazları tasarlamaktadır. Bu cihazların tasarımına imkân sağlayacak uygun manyetik ince film malzemeler son yılların ilgi uyandıran çalışma alanlarından biridir. Sektörün isteklerine uygun olarak tasarlanan manyetik filmler her geçen gün eskisinden daha karmaşık bir hal almaktadır [1].

Manyetik filmlerin sahip olması istenen özelliklerinin optimizasyonu için, ultra ince yapıda üretim, çok katmanlı yapı kullanımı, özel üretim tekniklerinin uygulanması, katkı malzemesi kullanılması gibi çalışmalar literatürde kendisine bir hayli yer buldu. Birkaç nanometre kalınlığında tasarlanan manyetik ince filmlerin bilgisayar sabit diskleri, manyetik kayıt cihazları, manyetik sensörler, okuma-yazma kafaları gibi geniş bir kullanım alanı vardır [2].

Manyetik ince filmlerin, Curie sıcaklığı T_C , mıknatıslanma M , manyetik momentlerin dizilimi gibi birçok özelliği film kalınlığına ve üretim aşamalarının yapı üzerindeki etkisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [3]. Manyetik malzemeler, manyetik özelliklerine bağlı olarak ikiye ayrılır:

- yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip manyetik malzemeler
- sert mıknatıslık özelliklerine sahip malzemeler

Koersivite değeri 0-10 Oe değerinde olan malzemeler yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzeme olarak adlandırılır. Koersivite ise maddenin manyetizasyonunu sıfırlamak için uygulanması gereken dış manyetik alanın büyüklüğüdür. Yumuşak mıknatıslık özellikleri sahip malzemeler, motorlar, manyetik sensörler, transformatorler, manyetik okuma-yazma kafaları, manyetik depolama cihazları gibi elektromanyetik cihazların tasarımında kullandığından ilgi uyandıran çalışma alanlarından biridir [3].

Özellikle Fe ve Co bazlı manyetik malzemeler, mikro-elektromekanik sistemler, manyetik kayıt kafaları, manyetik okuma kafaları, veri depolama ortamları gibi

manyetik cihazların tasarımında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Manyetik ince film kafalar, yüksek kapasiteli ve yüksek hızlı tasarlanan bilgisayarlarda kullanılan hard disklerin en önemli parçalarındandır. Yüksek manyetik doyum noktasına ve düşük koersivitede yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip manyetik okuma-yazma kafalarının geliştirilmesi, yeni nesil yüksek kapasiteli kayıt cihazlarının tasarımı için zorunlu adımlardan biridir. Son yıllarda birçok araştırmacı bilim adamı, her geçen gün kapasitesi artan manyetik kayıt cihazları için yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemeler geliştirmeye çalışmaktadır [3-7].

Yüksek kapasiteli bir manyetik okuma-yazma kafası geliştirirken yüksek manyetik doyum ve düşük koersivite özelliklerinin sağlanması gerekir. Hali hazırda klasik okuma-yazma kafalarında polikristal $Ni_{81}Fe_{19}$ tercih edilmektedir. $NiFe'$ in tercih edilmesinin nedeni düşük koersivite ve yüksek manyetik doyum değeri gibi sahip olduğu yumuşak mıknatıslık özellikleridir. Daha hızlı ve yüksek kapasiteli manyetik kayıt cihazların geliştirilmesi için Fe ve Co bazlı ince filmler son yıllarda bolca yapılan çalışmalardandır [8,9]. Aslında Fe ve Co bazlı malzemeler yüksek doyum mıknatıslanma değeri, yüksek geçirgenlik, düşük anizotropi gibi uygun manyetik özelliklere sahip olmakla birlikte yüksek koersivite değeri bu alanda kullanımı için bir engeldir. Koersivite değerinin düşürülmesi gibi bu filmlerin özelliklerinin uygun hale getirilmesi için, farklı elementlerle katkılamak, değişik alttabakalar kullanmak ve farklı üretim teknikleri denemek gibi bir hayli farklı çalışma yapılmıştır [10-13].

Katkılama yapılırken genelde N, Al, O gibi elementler tercih edilip $FeCoN$, $FeCoAl$, $FeCoAlO$ gibi bileşikler üretilip, düşük koersivite değeri sağlanarak yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemeler üretilmeye çalışılmıştır.

Alttabaka kullanımı da literatürde kendisine bir hayli yer edinmiş birçok bilim adamı tarafından yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzeme üretiminde denenmiştir. Alttabaka kullanımının malzemenin koersivite değerini etkilemesinin aşağıda belirtilenler gibi birkaç nedeni olduğu düşünülmektedir.

İnce, belki amorf bir alttabakanın, yüzeyine kaplanan malzemenin atomlarının yüksek mobilitiye sahip olmasını sağlayarak enerji bakımından en uygun kristal dokuda oluşmasını sağladığı düşünülmektedir [14].

Yapılan bazı çalışmalarda alttabaka kullanımının malzemenin tanecik boyutunu düşürerek, Hoffmann'ın Ripple teorisiyle ilişkili olarak koersivite değerini küçülttüğü düşünülmektedir [15,19].

Hoffmann'ın Ripple teorisine göre polikristal yapıdaki ince filmin koersivite değeri:

$$H_C = \frac{\beta\sqrt{2}\sqrt{D}S}{L\pi M_S} \left(\frac{K_u}{A}\right)^{1/4} \quad (1.1)$$

ile verilir. Burada:

H_c koersivite, A değiş-tokuş sabiti, D ortalama tanecik boyutu, S $K_{lokal} \cdot D/n^{1/2}$ ile hesaplanan yapı faktörü, K_{lokal} lokal anizotropi, n verilen kalınlıkdaki tanecik sayısı, M_S doyum manyetizasyonu, L $(A/K_I)^{1/2}$ ile hesaplanan çiftlenme genişliğidir.

Yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemeler üzerine yapılan çalışmalar daha çok FeCo içeren filmler üzerine yoğunlaşmış olduğu görülür. Özellikle $Co_{90}Fe_{10}$ bu alanda pek fazla denenmemiş bir malzemedir. Örneğin, İlk çalışmalardan birinde film kalınlığının tanecik boyutu ve koersivite üzerindeki etkisi incelenmiştir. Manyetik okuma-yazma kafalarında yaygın olarak kullanılan $Ni_{81}Fe_{19}$ film 2,5-30 nm kalınlık değerlerinde sıçratma ile cam üzerine üretilmiştir. Üretilen filmlerin kalınlığına bağlı olarak tanecik boyutu ve koersivite değerleri farklılık göstermektedir. 0,8 Oe olarak en düşük koersivite 7,5 nm kalınlıklı filmde elde edilmiştir [16]. S.Wang ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada sandviç yapı gibi çok katmanlı olarak üretilen manyetik filmlerde koersivitenin şaşırtıcı bir şekilde düşürülebileceği öngörülmüştür. Tek katman olarak üretilen film 5 Oe civarında koersivite değerine sahipken, aynı film $Ni_{19}Fe_{81}$ ile sandviç edildiğinde koersivitesi 0,6 Oe değerine düşmektedir [17]. Benzer bir çalışmada FeCo filme N katkılanmış ve RF sıçratma tekniği kullanılarak 5 nm kalınlıktaki FeNi ile üstten ve alttan kaplanarak sandviç yapı oluşturulup, tek katman FeCoN film için 5 Oe

olarak ölçtükleri koersivite 0,6 Oe değerine düşmüştür [18]. H.S. Jung ve arkadaşları DC magnetron saçtırma tekniğini kullanarak 50 nm kalınlıktaki FeCo filmi 2,5 nm kalınlıktaki Cu altık üzerine ve alttabaka kullanmadan cam üzerine ürettiklerinde, Cu alttabaka ile koersivite değerinin 9,6 kA/m'den 0,7 kA/m değerine düştüğünü gözlemişlerdir. Koersivite değerindeki düşüşün kaynağını Ripple teorisine göre tanecik boyutundaki azalma olduğu öngörülmektedir [19]. H.S. Jung ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmaya göre Fe₆₅Co₃₅ filmin değişik alttabakalar üzerine üretilmesi yumuşak mıknatıslık özelliklerini etkilemektedir. Alttabakalar FeCo filmin kristal yapısını ve tanecik boyutunu etkilemektedir. TEM analizlerinden elde edilen tanecik boyutu değerleri Ripple teorisinde öngörüldüğü gibi koersivite değerlerinde düşüşe yol açmaktadır. FeCo filmler Co, Ru, Ta/Cu, Ta/NiFe, Cu/IrMn altıkları üzerine üretildiğinde alttabakasız 120 Oe olan koersivite değeri 7-12 Oe arasında olmaktadır [15]. Bir başka çalışmada FeCo filmlere B katkısının ve NiFe alttabaka kullanımının etkisi incelenmiştir. Üretilen FeCo film 330 Oe koersivite değerine sahipken B katkısı ile 43 Oe, NiFe alttabaka üzerine üretilen FeCoN film ise 1 Oe koersiviteye sahiptir. MFM analizlerine göre B katkısı ve NiFe alttabaka kullanımı filmlerin manyetik domainleri üzerinde etkisi vardır. Koersivitesi düşük filmlerin manyetik domainleri küçülmekte hatta kaybolmaktadır [20].

T. Yokoshima ve arkadaşları elektrodpozisyon yöntemi ile manyetik CoFe film üretilip, koersivite değerini 12 Oe'den yüksek olarak ölçmüşlerdir. Bu filmleri vakumda dış manyetik alan desteği ile tavlama yaptıktan sonra koersivitesinin 8 Oe değerine düşmüştür. Filmlerin XRD deseni tavlama sonrası kırınım piklerinin keskinleşmiştir. Aslında keskinleşen pikler tanecik boyutunun ve dolayısıyla koersivitenin artması anlamına gelmesine rağmen bu çalışmada koersivitedeki düşüşün kaynağı olarak tavlamanın yapı bozuklukları ve koersivite üzerindeki olumlu etkisi olarak öngörülmüştür. Ayrıca tavlamanın Co₄₀Fe₆₀ için koersiviteyi düşürdüğü ancak Co₁₀Fe₉₀ için aynı şekilde etkili olmamıştır [21]. Y. Fu ve arkadaşları ise tarafından yapılan bir çalışmada 440 nm kalınlıktaki Fe₆₅Co₃₅ ince filmi 5 nm Co altık üzerine üretilmiştir. XRD sonuçlarına göre FeCo film (200) kristal yapısında iken Co alttabaka üzerine üretilen FeCo filmin kristal yapısı değişerek (110) olmuştur. TEM analizi sonucuna göre Co alttabaka üzerine üretilen filmlerde tanecik boyutları küçülmektedir. Bunun

sonucu olarak FeCo filmin 50 Oe civarındaki koersivite değerini Co alttabaka ile 3 Oe değerine kadar düşmüştür [22].

Fe ve Co bazlı filmlerin yumuşak mıknatıslık özellikleri kazanması adına yapılan çalışmalar genelde alttabaka kullanımı ve katkılama üzerine yoğunlaşmaktadır. M. Vopsaroiu ve arkadaşları tanecik boyutunun kontrol altında tutulduğu özel bir plazma sıçratma tekniği kullanarak katkı ve alttabaka kullanmadan da koersivite değerinin düşürülebileceğini not etmişlerdir. TEM analizi sonuçlarına göre tanecik boyutunun üretim parametreleri ile değişmektedir. Bu teknik ile üretilen CoFe filmlerin koersivite değerleri 120 Oe'den 12 Oe değerine kadar düşebilmektedir [23]. FeCo filmleri altıkların üzerine üretmenin etkilerinin incelendiği bir çalışmada sıçratma tekniği ile FeCo filmler $\text{Co}_{93}\text{Fe}_7$, $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$, Cu ve Fe alttabaka üzerine üretilmiştir. FeCo filminin kristal yapısını etkileyen alttabakalar koersivite değerinde 2,1 kA/m'den 0,2 kA/m'ye kadar düşüş sağlamıştır. Alttabakalar tanecik ve manyetik domein boyutlarını da etkilemektedir [24]. X.Liu ve A.Morisako ise FeCo filme C katkılamış ve manyetik filmleri iki ayrı saçtırma tekniği ile üretmişlerdir. Bu çalışmada alınan sonuçlara göre sıçratma ile üretilen film 40 Oe değerinde koersiviteye, reaktif gaz saçtırma tekniği ile üretilen C katkılı FeCo film ise 1 Oe değerinde koersiviteye sahip olmaktadır. Her iki üretim tekniğinde de C katkısı filmlerin tanecik boyutunu azaltmaktadır [25].

X.Liu ve A.Morisako yaptıkları çalışmada FeCo filmi 5 nm den daha ince Co alttabaka üzerine çok tabakalı olarak üretmişlerdir. Co ve FeCo nun yer değiştirmesinde filmin kristal yapısı (200)'dan (110)'a değişmektedir. FeCo'nun alttabaka olarak kullanıldığı filmler yüksek koersivite değeri ve büyük tanecik boyutu göstermekle birlikte, alttabakanın Co olduğu filmler düşük tanecik boyutu ve 2 Oe gibi düşük koersivite değeri göstermektedir [26].

Yapılan başka bir çalışmada FeCo filmine Al, O ve C katkısının etkisi incelenmiştir. RF sıçratma tekniği ile üretilen FeCoAlOC film iyi yumuşak mıknatıslık özellikleri göstermiştir. Katkılama ortalama tanecik boyutunu ve kristal yapıyı etkilemektedir. Histeresiz eğrisi FeCo filmin 61 Oe olan koersivite değerinin FeCoAlO filmde 4-7 Oe, FeCoAlOC filmde ise 1 Oe olduğunu göstermektedir [27].

FeCo filmler üzerine yapılan başka bir çalışmada çok katmanlı yapıda NiCr ve Cr'nin etkisi incelenmiştir. RF magnetron sıçratma tekniği ile cam altlık üzerine üretilen örneklerden çok katmanlı olanlar, toplam kalınlık aynı kalmasına rağmen düşük koersivite değeri ile daha iyi yumuşak mıknatıslık özelliği göstermektedir [28].

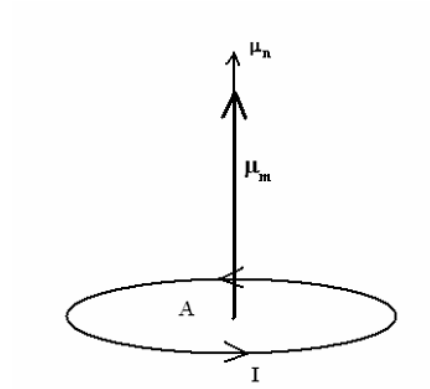
G.Chai ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada $(\text{CoFe})_{1-x}(\text{NiZnFe}_2\text{O}_4)_x$ filminin x değeri arttıkça üretilen filmlerin XRD kırınım piklerinin de zayıfladığını, dolayısıyla hesaplanan tanecik boyutlarının da azaldığını gözlemişlerdir. Yine x değerine bağlı olarak değişkenlik gösteren koersivite değerlerinin, $x = 0,085$ 'de zor eksen için 0,54 kA/m ile en düşük değere sahip olmuştur [29].

Bu tez çalışmasında manyetik okuma-yazma kafalarında sıklıkla kullanılan yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemeler incelenerek, alıtabaka kullanılarak üretilen CoFe manyetik filmlerin uygun özelliklere sahip olup olmadığı incelenecektir. Bunun için; CoFe filmlerin farklı alıtabakalar üzerine sıçratma tekniği ile üretilmesi, GI-XRD ile kristal yapının analiz edilmesi, MFM analizi ile filmlerin manyetik domeinlerinin incelenmesi, MOKE analizi ile histeresiz eğrisinin elde edilmesi ve koersivite değerinin ölçülmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve literatürde bu alanda yapılmış çalışmalarla kıyaslanması yapılarak okuma-yazma kafalarında kullanılacak özelliklere sahip CoFe filmler tespit edilecektir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Manyetik Malzemeler

Manyetik malzemenin manyetikliği, malzemenin yapısını oluşturan atomların elektronlarının çekirdek ve kendi eksenini etrafında dönme hareketi sonucu meydana gelen manyetik momentlerden kaynaklanmaktadır. Yüklü bir parçacığın bir r yarıçaplı dairesel yörüngede hareket etmesiyle Şekil 2.1.'deki gibi bir manyetik moment oluşmaktadır. Bu manyetik moment μ_m :



Şekil 2.1. Yüklü parçacığın oluşturduğu manyetik moment

$$\mu_m = i.A.\hat{\mu}_n \quad (2.1.1)$$

olarak bulunur. A dairesel yörüngenin kapladığı alan, i akım, μ_n alana dik birim vektördür [30]. Elektronun çekirdek etrafında dolanmasıyla da benzer bir manyetik moment oluşur. Bu momenti incelerken öncelikle elektronun dönüşüyle oluşan akım şu şekilde gösterilir:

$$i = -\frac{e}{\tau} \quad (2.1.2)$$

Burada e elektronun yükü ve τ çekirdek etrafındaki dönüş periyodudur. Elektronun yörüngesel hareketinden kaynaklanan manyetik moment μ_m ise

$$\mu_m = i.A = -\frac{eA}{\tau} \quad (2.1.3)$$

olur. Açısal momentum ise:

$$p_0 = m_e r^2 \frac{d\theta}{dt} \quad (2.1.4)$$

olur. m_e elektronun kütlesi ve r çekirdek etrafındaki dolanım yarıçapıdır.

$$A = \left(\frac{1}{2}\right) p_0 \frac{\tau}{m_e} \quad (2.1.5)$$

Yörüngesel manyetik moment:

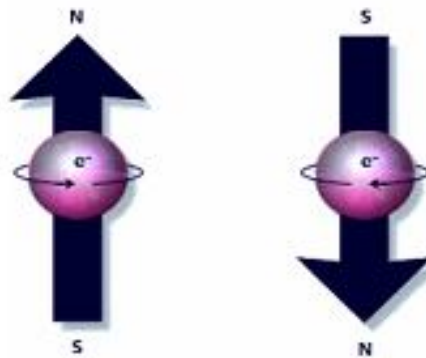
$$\mu_m = -\left(\frac{e}{2m_e}\right) p_0 \quad (2.1.6)$$

olur.

Elektronun kendi eksenini etrafında dolanmasıyla oluşan manyetik moment ise:

$$\mu_s = -\left(\frac{ep_s}{m_e}\right) \quad (2.1.7)$$

ile verilir.



Şekil 2.2. Elektronun spin manyetik momentini [31]

Toplam manyetik moment μ_T :

$$\mu_T = \mu_s + \mu_m \quad (2.1.8)$$

$$\mu_T = -g \left(\frac{e}{2m_e} \right) p_T \quad (2.1.9)$$

olur [32].

2.2. Makroskopik Boyutta Manyetizm

Manyetizasyon birim hacimde maddedeki net manyetik moment büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır [2]. Atomun manyetik momentini bir V hacimli madde için genellersek manyetizasyon:

$$M = n \cdot \mu \quad (2.2.1)$$

olur. Burada:

n : birim hacimdeki atom sayısı

μ : her bir atomun ortalama manyetik momentini

eğer bu madde bir B_0 dış manyetik alan içerisinde konursa manyetizasyonu

$$B = B_0 + \mu_0 M \quad (2.2.2)$$

olur [30]. Burada μ_0 boşluğun geçirgenlik değeridir.

Her manyetik madde bir dış manyetik alan içine konulduğu zaman bu alana bir tepki gösterir. Bu tepkiye manyetik alınganlık denir ve χ ile gösterilir [32].

$$\chi = M/H \quad (2.2.3)$$

2.3. Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması

Manyetizma veya manyetik malzemeler 5 farklı kategoride incelenebilir; diamanyetizma, paramanyetizma, antiferromanyetizma, ferromanyetizma,

ferrimanyetizma [30]. Manyetik maddelerin sınıflandırılması genellikle manyetik alınganlıklarına göre yapılmaktadır [2].

2.3.1. Diamanyetizma

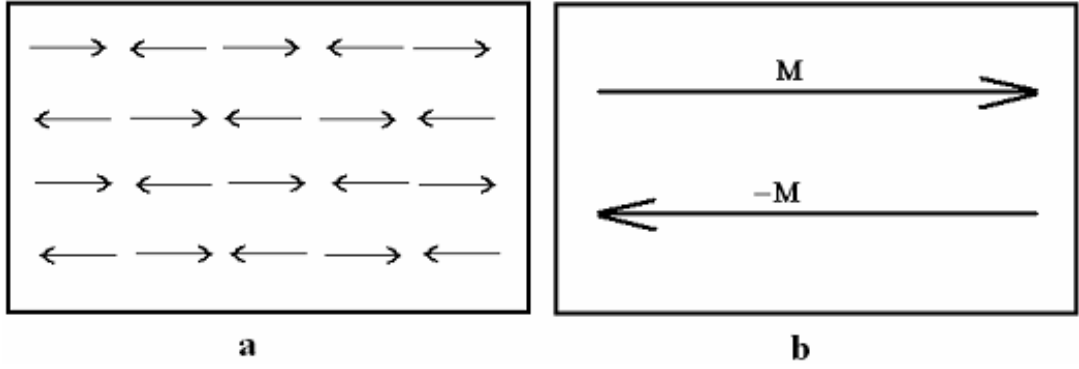
Maddenin oda sıcaklığındaki manyetik alınganlığı negatif ve çok küçük ($\chi \sim - 10^{-5}$) ise diamanyetik madde olarak sınıflandırılır. Negatif alınganlıklarından dolayı uygulanan manyetik alana ters yönde manyetizasyon gösterirler. Bu maddelerin, manyetik alanı hafifçe itmelerine yol açar. Diamanyetik madde de çiftlenmemiş elektron olmadığından elektronlar bulk yapıda net bir manyetik moment oluşmaz [3]. Diamanyetik maddelerin manyetik özelliklerine bağlı olarak yaygın bir kullanım alanı bulunmamaktadır.

2.3.2. Paramanyetizma

Maddenin manyetik alınganlığı pozitif ve çok küçük ($\chi \sim 10^{-3} - 10^{-5}$) ise paramanyetik madde olarak sınıflandırılır. Pozitif alınganlıklarından dolayı uygulanan manyetik alanla aynı yönde manyetizasyon oluştururlar. Paramanyetik maddelerde çiftlenmemiş elektron bulunur. Çiftlenmiş elektronlar Pauli dışarlanma ilkesi gereği spinleri zıt olacağından spin manyetik momentleri birbirini yok eder. Ancak çiftlenmemiş elektron için böyle bir sınırlandırma olmadığından uygulanan dış manyetik alana bağlı olarak bu manyetik momentler aynı yönde yönelerek manyetik alanı arttırıcı etki oluştururlar. Dış manyetik alan olmadığında bu manyetik momentler rastgele yöneldiğinden net bir manyetik moment oluşturmazlar [2].

2.3.3. Antiferromanyetizma

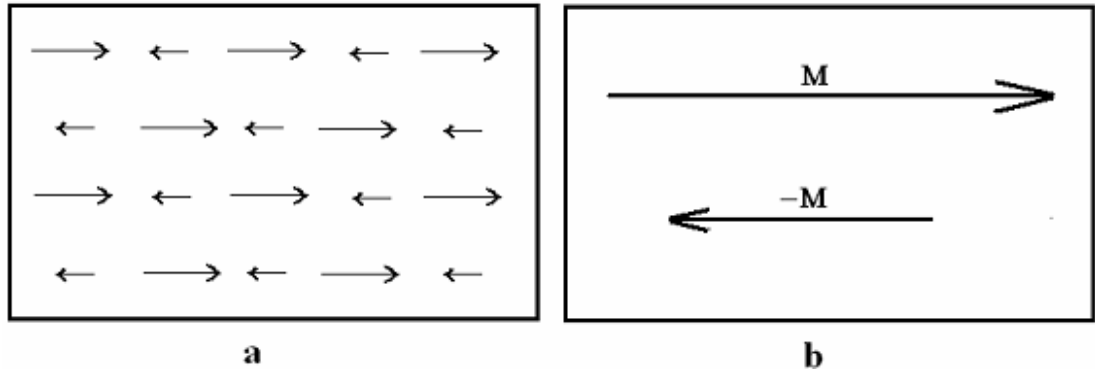
Madde eşit büyüklükte ve zıt yönde alınganlığı olan bir kristal yapısına sahipse antiferromanyetik madde olarak sınıflandırılır. Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi eşit ve zıt yöndeki manyetizasyon vektörleri birbirini yok ederek net manyetizasyonun sıfır olmasına yol açar.



Şekil 2.3. Antiferromanyetik maddelerde (a) Manyetik momentlerin (b) Manyetizasyon vektörünün yönelimi [30]

2.3.4. Ferrimanyetizma

Antiferromanyetik maddelere benzer olmakla birlikte, eşit olmayan zıt manyetizasyon vektörlerine sahip maddeler ferrimanyetik madde olarak sınıflandırılır. Bu sınıftaki maddeler küçük manyetik alınganlığa sahiptirler. Şekil 2.4.'de ferrimanyetik maddelerin manyetik moment dizilimleri görülmektedir.

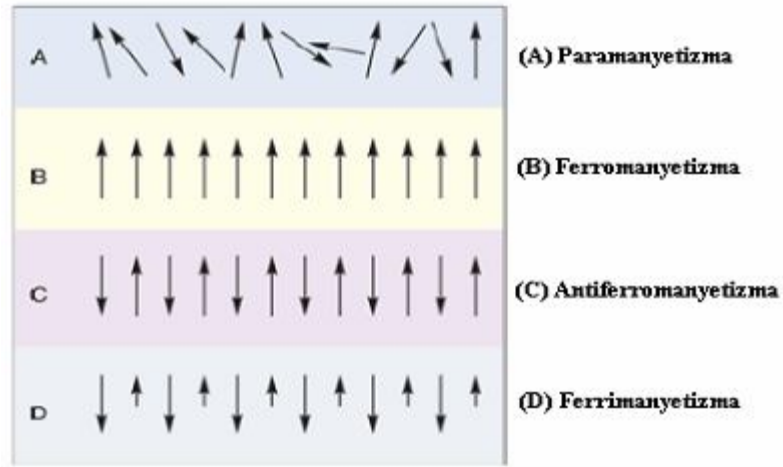


Şekil 2.4. Ferrimanyetik maddelerde (a) Manyetik momentlerin (b) Manyetizasyon vektörünün yönelimi [30]

2.3.5. Ferromanyetizma

Oldukça yüksek pozitif alınganlığa ($\chi \sim 50-10000$) sahip maddeler ferromanyetik madde olarak sınıflandırılırlar. Manyetik maddelerin içerisinde en önemli olanlarıdır. Demir(Fe), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Gadolinium (Gd) ferromanyetik maddelerdir. Ferromanyetik maddelerde de paramanyetik maddelerdeki gibi manyetik moment oluşturan çiftlenmemiş elektronlar bulunur. Bununla birlikte ferromanyetik maddelerde

bu manyetik momentler sadece dış manyetik alanla değil, kendi aralarında da minimum enerji durumunu sağlamak için aynı yöne yönelme eğilimindedirler. Böylece dış manyetik alan kaldırılrsa bile maddede net bir manyetik momentin varlığı devam eder [3]. Bu özelliklerinden dolayı ferromanyetik maddeler mühendislik ve bilişim sektörlerinde geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır [2]. Bu tez kapsamında da incelenen maddelerde ferromanyetik maddelerdir. Bazı maddelerin manyetik momentlerinin dizilimi Şekil 2.5.'de verilmektedir.

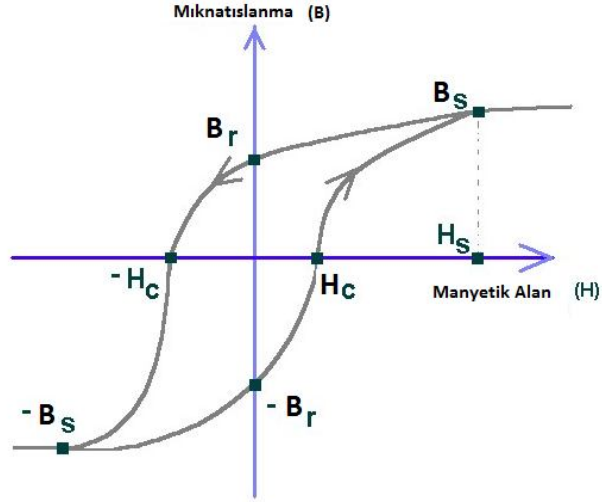


Şekil 2.5. Madde türüne göre manyetik momentlerin sıralanışı [1]

Bütün ferromanyetik maddelerin kendilerine özel bir Curie sıcaklığı veya Curie noktası bulunmaktadır. Madde bu sıcaklığın üzerine çıkarıldığında ferromanyetik özelliklerini kaybeder [3].

2.4. Manyetizasyon (Histeresiz) Eğrisi

Manyetizasyon ölçümü (Histeresiz eğrisi) maddelerin manyetik karakteristiklerinin tespit edilmesi için yaygın olarak yapılan ölçümlerden biridir. Şekil 2.6.'da tipik bir histeresiz eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.6. Manyetizasyon (Histeresiz) eğrisi

Manyetik maddenin kullanılacağı alanlara uygun manyetik özellikler taşıyıp taşımadığı histeresiz eğrisi analiz edilerek anlaşılabilir. Histeresiz eğrisinden manyetik maddenin doyum manyetizasyonu, koersivitesi, manyetik geçirgenliği ile ilgili bilgiler elde edilebilir [2].

Bu bakımdan bu eğrilerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Buna göre histeresiz eğrisini oluşturan süreç incelenirse:

Ferromanyetik maddeye bir dış manyetik alan uygulandığında, atomik dipoller dış manyetik alanla aynı yönde yönelirler. Uygulanan dış manyetik alanın artırılmasıyla tüm dipoller aynı yönde yönelerek madde doyum mıknatıslanma durumuna gelir (B_s). Daha sonra dış manyetik alan azaltılsa bile bu yönelimin büyük bir kısmı değişmeden kalır. Dış manyetik alan sıfır olduğu anda maddedeki mıknatıslanma artık kalıcı mıknatıslanmadır (B_r). Uygulanan dış manyetik alanın negatif yönde artırılmasıyla maddedeki mıknatıslanma azalır ve belli bir manyetik alan değerinde sıfır olur. Manyetik alanın bu değerine koersivite denilir ($-H_c$).

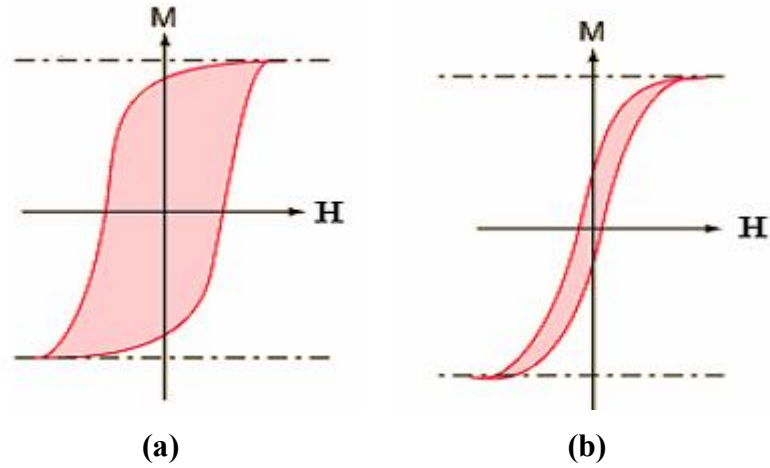
Dış manyetik alanın negatif yöndeki artırılması sürerse madde negatif yönde mıknatıslanmaya başlar ve pozitif yönde olduğu gibi doyum mıknatıslanma değerine ulaşır ($-B_s$). Sonrasında manyetik alan artmaya devam etse bile mıknatıslanma sabit

kalır ve artmaz. Bu noktadan sonra manyetik alan azaltılarak sıfır olursa negatif mıknatıslanmanın büyük bir kısmı değişmeden kalarak maddede kalıcı negatif mıknatıslanma oluşur ($-B_R$).

Sıfır olan manyetik alan pozitif yönde arttırılırsa maddenin negatif mıknatıslanması giderek azalır ve manyetik alanın belli bir değerinde sıfır olur. Bu değer pozitif koersivite değeridir (H_C).

Manyetik alanın artmasıyla maddedeki mıknatıslanma tekrar doyum mıknatıslanma değerine ulaşır. Böylece tam bir histeresiz çevrimi gerçekleştirmiş olur.

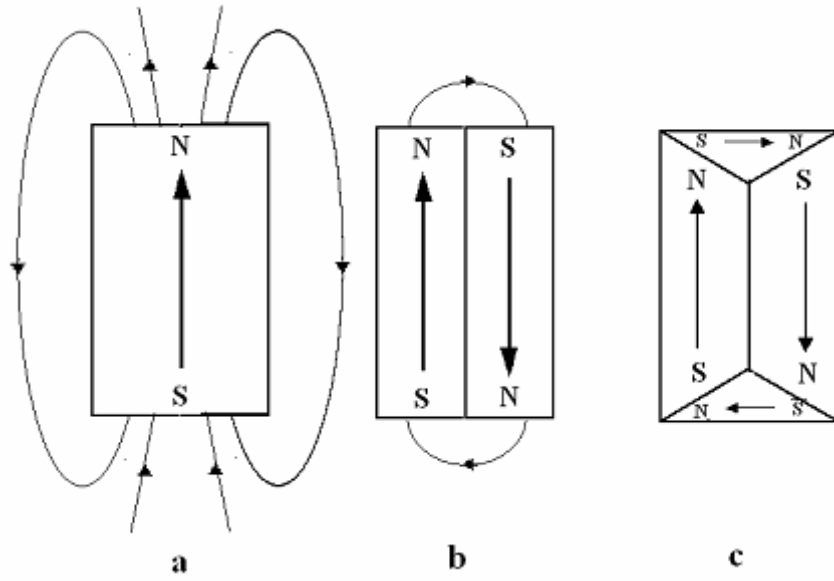
Histeresiz eğrisinin alanı yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip maddelerde küçük iken sert mıknatıslık özelliklerine sahip maddelerde daha büyüktür [33].



Şekil 2.7. (a) Sert mıknatıslık özelliklerine sahip malzemenin **(b)** Yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemenin histeresiz eğrisi [1]

2.5. Manyetik Domeinler

Manyetik domeinler kristal yapıda manyetizasyonun tek yönlü olduğu bölgelerdir. Domein oluşturan madde, toplam enerji seviyesini malzemenin kenarlarındaki manyetik kutuplar tarafından oluşturulan manyetik alan çizgilerinin birbirine yaklaşmasını sağlayarak düşürmüştür [30].



Şekil 2.8. Maddenin (a) tek domein (b) çift domein (c) çoklu domein konfigürasyonu [30]

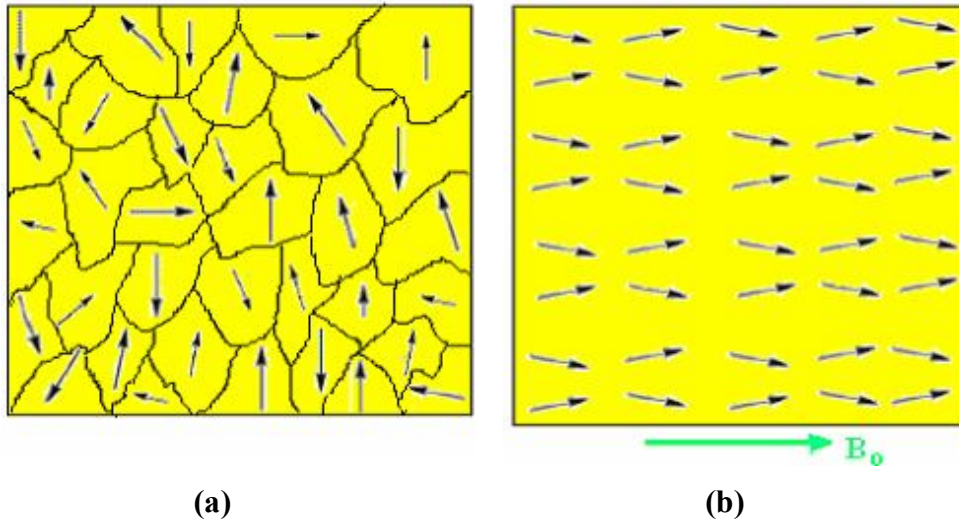
Eğer bir domein çok fazla sayıda molekül taşıyorsa, kararsız hale gelir ve birbirine zıt yönelime sahip iki domeine ayrılarak daha kararlı bir hale geçer. Mıknatıslanmış bir ferromanyetik maddenin sıcaklığı Curie sıcaklığının üzerine çıkarılırsa, manyetik domeinler düzenini kaybederek maddenin manyetik özelliklerin azalmasına yol açar. Madde soğutulduğunda ise domein yapısı önceki haline geri döner [3].

Şekil 2.8. (a)'da görüldüğü gibi manyetik alanda depolanmış olan manyetostatik enerji iki domeine ayrılmasıyla azalmakta, daha fazla domeinlerin oluşumuyla daha da azalmaktadır.

Birçok manyetik maddede momentlerin yönelmeyi tercih ettiği bir kristal doğrultusu vardır. Bu doğrultu kolay eksen olarak bilinir. Adından da anlaşılacağı gibi momentleri bu doğrultuda manyetize etmek kolaydır. Momentleri yönlendirmek için çok enerjinin gerektiği doğrultu ise zor eksen olarak bilinir. Momentleri zor eksen doğrultusunda yönlendirmek için gerekli ek enerjiye manyetokristal anizotropi enerjisi denilir [30].

Manyetik domeinler manyetik kuvvet mikroskobu ile gözlemlenirler. Ferromanyetik maddeleri paramanyetik ve diamanyetiklerden ayıran önemli bir özelliği domein yapılarının olmasıdır [33].

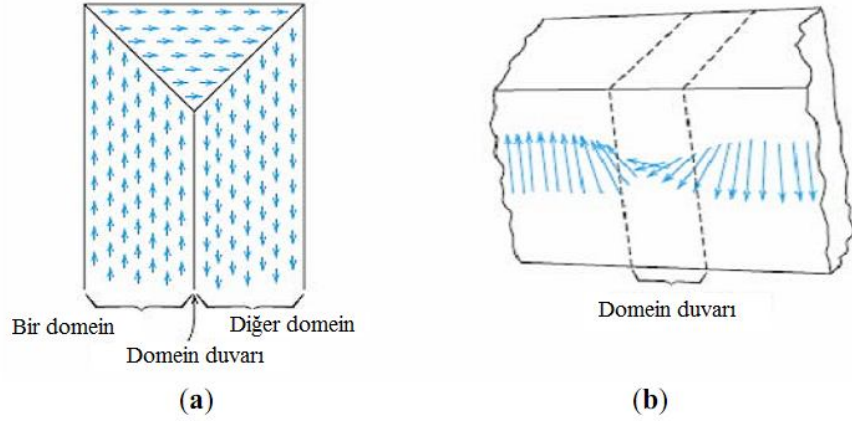
Mıknatıslanmamış maddelerde domeinler rastgele yönelerek Şekil 2.9. (a)'daki gibi net manyetik moment oluşturamazken, dış alan uygulandığında Şekil 2.9. (b)'deki gibi dipoller üzerine kuvvet etki ettirerek domeinleri dış alan yönünde döndürür [31].



Şekil 2.9. Manyetik domeinlerin (a) mıknatıslanmamış (b) uygulanan bir dış B_0 manyetik alanla mıknatıslanmış malzemedeki konfigürasyonu [1]

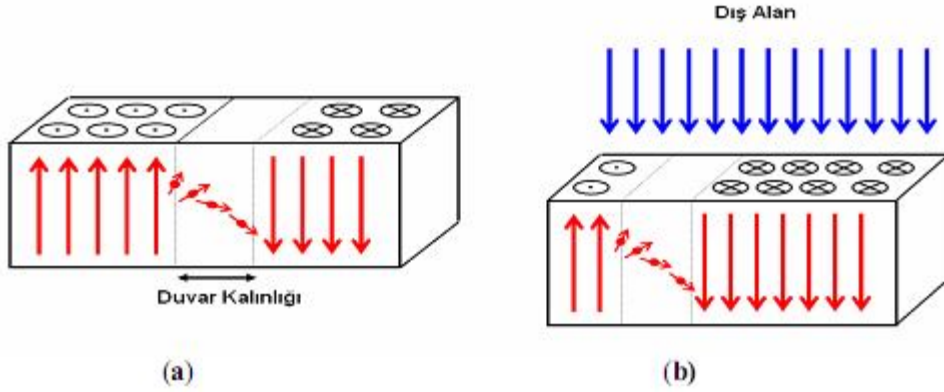
2.6. Domein Duvarı

Domeinlerin hacimleri yaklaşık olarak $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^3$ olup, her bir domein $10^{17} - 10^{21}$ civarında atom içermektedir. Farklı yönelimlere sahip olan domeinlerin arasındaki sınırlara domein duvarları denir. Şekil 2.10.'da domein duvarları görülmektedir.



Şekil 2.10. (a) Domeinler (b) domein duvarı [31]

Domein duvarları enerji yüklüdür ve bir dış alanla hareket ederler. Şekil 2.11.'de dış alan etkisi altındaki domein duvarının davranışı görülmektedir.

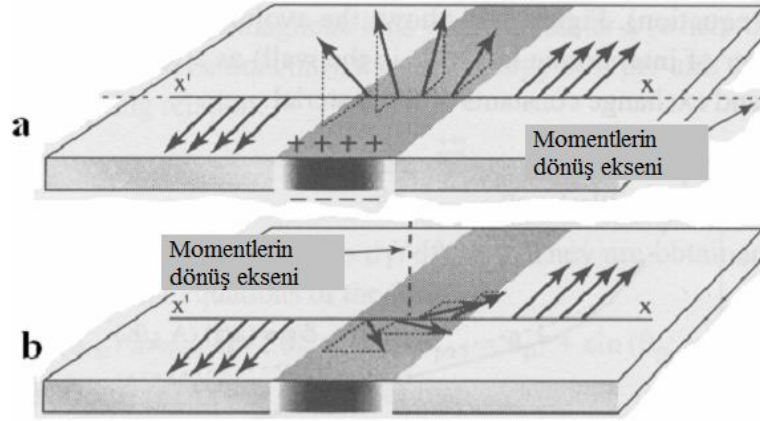


Şekil 2.11. Domein duvarı (a) dış manyetik alan yokken (b) bir dış manyetik alan uygulandığında [31]

Domein duvarlarını açıklamak için genelde iki model kullanılmaktadır. Bunlar Bloch ve Neel domein duvarı modelleridir.

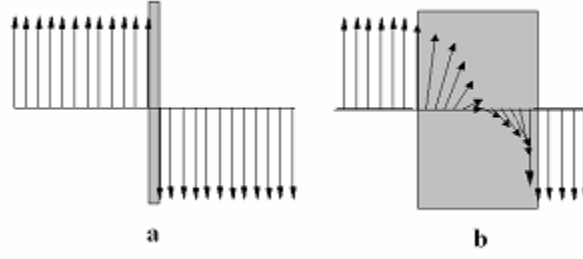
Katı malzeme gibi ideal bir sistemde iki domein Bloch duvarı ile ayrılır. Burada manyetik momentler domein duvarının kalınlık düzlemine dik yönde dönerler. Ancak birçok malzeme ideal değildir.

Bu tez çalışmasında incelenen filmler gibi birçok manyetik malzeme de ince film şeklindedir. Malzemenin boyutları domain duvarı üzerinde etkilidir. Çok ince filmlerde malzeme sadece iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Böyle bir manyetik malzemede Bloch duvarının oluşması için momentlerin malzeme yüzeyinde kutup bölgelerinde dönmesi gerekir. Dipolar etkiden dolayı bu olay oldukça fazla enerji harcanmasına yol açar. Eğer momentler manyetik duvarın kalınlık düzlemine paralel şekilde dönerlerse bu enerji harcamasının önüne geçilmiş olur. Momentlerin bu şekilde döndüğü domain duvarı Neel duvarı olarak bilinir. Neel duvarı genelde ince film ve çok katmanlı malzemelerde görülür. Film kalınlığı 10^{-6} cm'den büyükse Bloch duvarı enerji açısından tercih edilebilir. Şekil 2.12'de Bloch ve Neel tipi domain duvarları görülmektedir.



Şekil 2.12. (a) Bloch (b) Neel tipi domain duvarı [30]

İki domeini ayıran domain duvarı değiş-tokuş enerjisi ile anizotropi enerjisinin arasındaki uyumun bir sonucu olarak ortaya çıkan bir kalınlığa sahiptir. Bu enerji uyumunun oluşması değiş-tokuş ve anizotropi enerjilerinin birbirine zıt doğasından dolayı kaçınılmazdır. Şekil 2.13'de değiş-tokuş ve anizotropi enerjileri arasındaki bağlantı gösterilmektedir.

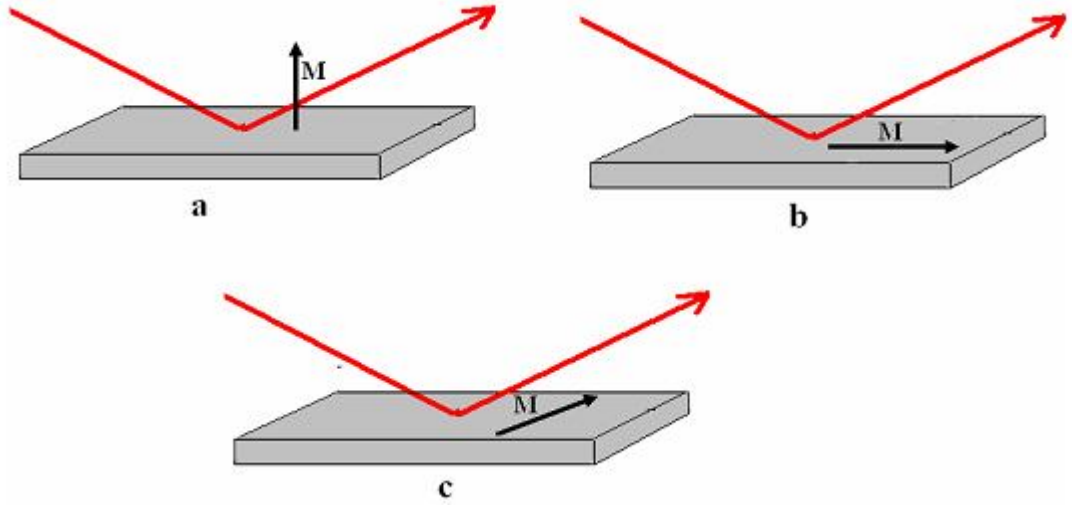


Şekil 2.13. Domein duvarı türüne göre **(a)** yüksek değiş-tokuş, düşük anizotropi **(b)** düşük değiş-tokuş, yüksek anizotropi durumunun oluşumu [30]

Eğer domein duvarı olabilecek en kısa büyüklükte oluşursa, hiçbir manyetik moment kolay eksenden döndürülmediğinden anizotropi enerjisinin tüketimi minimum olur ancak bu durum momentlerin tamamen zıt yönlü yöneliminden dolayı değiş-tokuş enerjisinin oldukça fazla olmasına yol açar. Bununla birlikte değiş-tokuş enerjisi manyetik momentlerin uzun bir mesafe boyunca yavaşça dönüşünü tercih eder. Bu durumda daha fazla sayıda manyetik momentin kolay eksenden dönüşünü gerektirdiğinden harcanan anizotropi enerjisinin fazla olmasına yol açar.

2.7. Manyeto-Optik Etkiler

Manyeto-optik etkiler birçok yolla oluşmakla birlikte, genel olarak Zeeman etkisi olarak bilinen manyetik alan içindeki atomun enerji seviyelerindeki yarılmının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Manyeto-optik etki yani bir nevi optik anizotropi, manyetize olmuş maddenin yüzeyindeki ışık yansıma açısının değişmesi şeklinde yani Manyeto-optik Kerr etkisi şeklinde kendini gösterebilir. Bu etkiler ilk defa 1888 yılında John Kerr tarafından gözlemlendi. Eğer manyetizasyon yönü yansıma yüzeyine dikse (polar) Kerr effect, manyetizasyon yönü yüzey ve yansıma düzlemine dikse longitudinal (boyuna) Kerr etkisi gözlenir. Eğer manyetizasyon yönü yüzey düzleminde ama yansıma düzlemine dikse transverse (enine) Kerr etkisi gözlenir.



Şekil 2.14. (a) Polar (b) boyuna (c) enine Kerr etkisi [30]

2.8. Manyetostriksiyon

Doğrudan manyetoelastik etki (direct magnetoelastic effect) olarak da bilinen manyetostriksiyon, uygulanan dış manyetik alana maddenin verdiği elastik bir cevaptır. Manyetizasyon boyunca ferromanyetik malzemenin şeklinde ve boyutunda meydana gelebilecek değişiklik de denebilir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Sıçratma Tekniği ve DC Magnetron Sıçratma

Sıçratma tekniği, hedef atomların plazma iyon bombardımanının yardımıyla koparılarak altlığa biriktirme yöntemidir. Sıçratmada genellikle Ar gazı kullanılır. Bu gaz iyonize edilmiş ve hedefe malzemeye doğru hızlandırılmış olduğundan hedef atomlara çarparak enerji ve momentum transferi sonrasında hedef atomlar kopartılarak iyonizasyon gerçekleştirilir.

Hızlandırılmış iyonlar ile katı malzeme yüzeylerinin bombardıman edilmesiyle malzemelerin katı halden buharlaştırılması olan temel sıçratma işlemi, yıllardır bilinmekte ve kullanılmaktadır. Birçok malzeme bu işlemle başarılı bir şekilde kaplanmasına rağmen, bu tekniğin bazı zayıf yönleri de varır. Bunlar, kaplama oranının düşüklüğü, plazmada düşük iyonlaşma verimi ve yüksek taban malzeme ısınma etkileri olarak sayılabilir. Bu sınırlamalar, manyetik alanda sıçratma ve sonraları da kararlı olmayan manyetik alanda sıçratma ile giderilmeye çalışılmıştır [34].

İlk kez 1852 yılında Grove ve birkaç yıl sonra Plücker bir deşarj tüpünün çalışması sırasında elektrotları oluşturan malzemenin, azar azar tüpün duvarlarında birikmeye başladığını tespit etmişlerdir. Bugün bu elektrotların, tüp çalışırken iyonlar tarafından bombardımana uğradığından dolayı birikmenin olduğu bilinmektedir [35].

Sıçratma tekniği ile film üretiminde kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunlar:

- DC diyot sıçratma
- AC sıçratma
- RF (Radyo frekans) sıçratma
- DC magnetron (DC manyetik alan) sıçratma,
- DC darbeli magnetron sıçratma
- İyon ve plazma ışın sıçratma

olarak sıralanabilir. Bu yöntemler içerisinde DC magnetron sıçratma yöntemi üzerinde duracağız.

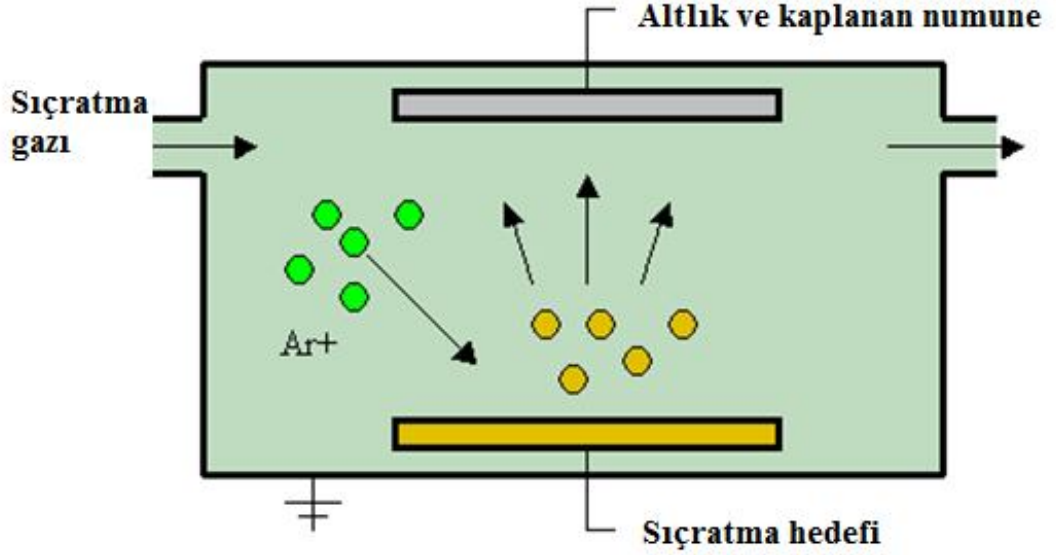
DC magnetron sıçratma yönteminde iyonlaşmış argon atomlarını hızlandırmak için kullanılan elektrik alanına dik doğrultuda bir de manyetik alan uygulanır ve bu alan sayesinde hedef üzerinde iyon konsantrasyonu artırılmış olur [35]. Manyetik alanın etkisi hedeften kopan elektronların yüzey etrafında dolanmasına sebep olur. Dolanan bu elektronlar yüzey üzerinde yüksek yoğunluklu bir plazma oluşturarak DC magnetron sıçratma sürecini başlatır. Bu sıçratma tekniğinin en önemli avantajı, yüksek yoğunluklu sıçratma işlemlerinin bu yoğun plazma ortamının yardımıyla gerçekleştirilebilmesidir. Diğer taraftan, DC magnetron sıçratmanın olumsuz tarafı ise, hedef üzerinde oluşan düzgün olmayan plazmanın magnetron oluşumunu etkilemesidir. Ayrıca, üretim sürecinin düzgün gerçekleştirilmesi için altlığın hedefe göre pozisyonu iyi ayarlanması gerekmektedir [36].

Manyetik alanda sıçratma, nanokristal yapıda boyut, yoğunluk ve kalınlığının kontrol edilebildiği bir üretim metodudur. Son yıllarda sıçratma teknolojisine bağlı gelişmelerin büyük çoğunluğunun manyetik alanda yapıldığı ifade edilmektedir. Bunun sebebi ise, manyetik alanda sıçratma yöntemi ile üretilen malzemelerin mikro elektronik, optik, manyetik ve optik kayıt ortamları, solar kontrol endüstrisi gibi geniş bir endüstriyel kullanım alanının olması olarak vurgulanmaktadır [35]. Bu teknik çok tabakalı film büyütme içinde elverişli bir yöntem olduğu ve bu yöntem kaplama işlemi sırasında sıcaklık, film kalınlığı, kaplama oranı ve gazın kimyasal bileşimi gibi kaplama parametrelerinin iyi bir şekilde kontrolünü sağladığı bilinmektedir. Çok tabakalı filmlerin büyütülmesinde genellikle çok hedefli sıçratma sistemleri kullanılmaktadır [34]. Sıçratma sisteminin basit çalışma şeması Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.

İyi bir sıçratma ile kaplama işlemi için, işlem vakumda ($<10^{-7} - 10^{-8}$ Torr basınçta) ve düşük gaz basıncı ($<5 \times 10^{-3}$ Torr) ile yapılmalıdır. Bileşik hedef kullanılarak üretilen filmlerde, taşıma ve yoğunlaşma sırasında en uçucu elementin (SiO_2 ve Al_2O_3 deki oksijen gibi) eksik olma durumu ile karşılaşılabilir. Bunu önlemek için sıçratma sisteminde kullanılan gaza bu element eklenebilir. Sıçratma sistemi ile üretilen malzemenin yapısının şu parametrelerle değiştiği ifade edilmektedir [36]:

- Gaz içerisindeki sıçratılmış parçacıkların enerji ve kütleleri

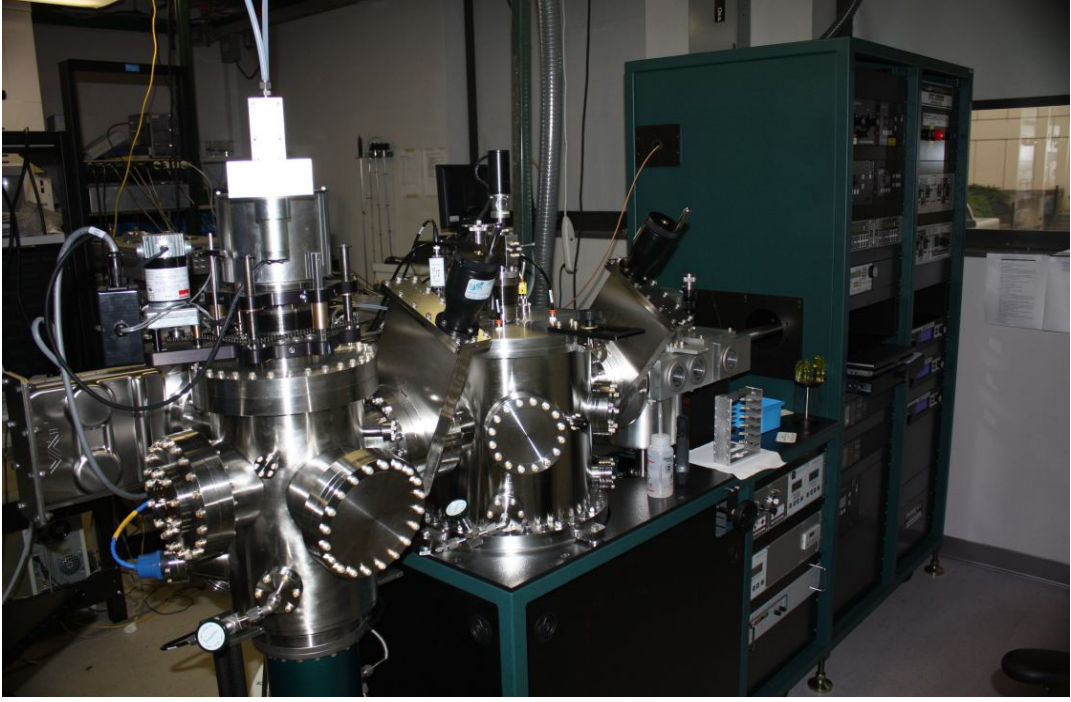
- Bombardıman açısı
- Hedefin yapısal özellikleri (bağlanma enerjisi gibi)
- Hedefin morfolojisi (hedefin yüzeysel düzgünlüğü azaldıkça sıçratma kalitesi de düşmektedir).



Şekil 3.1. Sıçratma cihazının çalışma şeması

Sıçratma sistemi ile manyetik filmlerin başarılı bir şekilde üretilebildiği birçok çalışmayla da desteklenmektedir [37-39]. Ayrıca manyetik filmlerin üretilmesinde sol-jel gibi metotlarda kullanılabilir [1,40].

Bu tez çalışmasında üretilen manyetik filmler Resim 3.1.'de gösterilen ATC 2200 6 hedefli magnetron sıçratma cihazı ile üretilmiştir.



Resim 3.1. ATC 2200 altı hedefli AJA sıçratma cihazı

3.2. X-Işını Difraksiyonu (XRD)

X-ışını difraksiyonu kristal yapı tayininde kullanılan tekniklerden biridir. X-ışınlarının yardımıyla numuneye zarar vermeden kristal örgü noktaları ve kristal düzlemleri arasındaki mesafeler bulunarak maddenin kristal yapısı hakkında bilgi sahibi olunur. Madde üzerine X-ışını gönderildiğinde örgü noktasındaki atomlar tarafından bu ışınlar saçılmaya uğrar. Saçılma sırasında bazı X-ışınları yıkıcı girişim yaparak birbirini yok ederken bazı X-ışınları yapıcı girişim yaparak birbirini kuvvetlendirir. Bir numunenin X-ışını analiz sonuçları bu yapıcı girişimin sonuçlarıyla belirlenir.

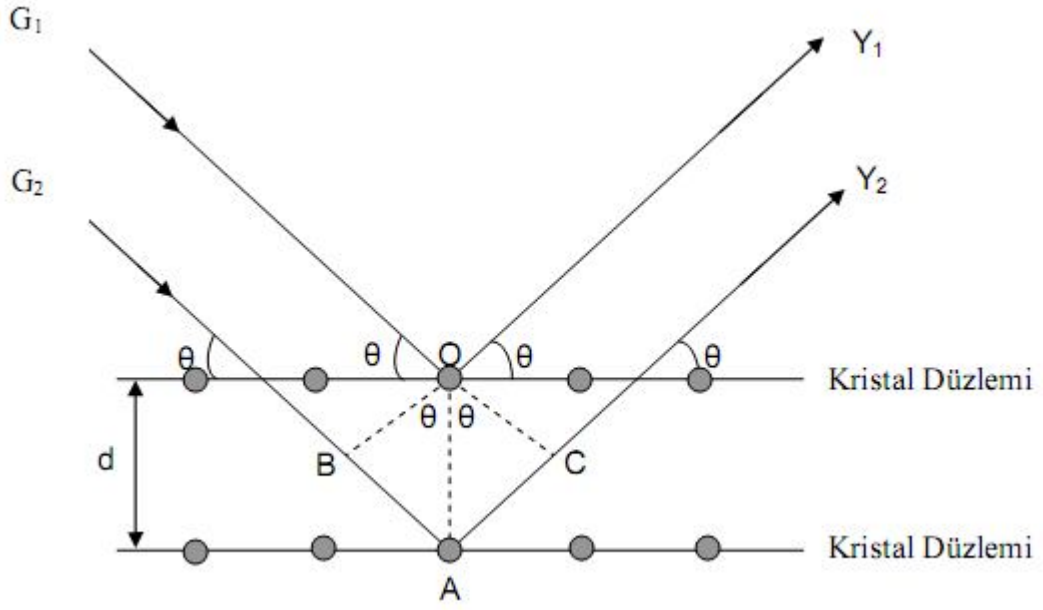


Resim 3.2. Rigaku Ultimate IV XRD cihazı

Bilindiği gibi yapıcı girişim Bragg şartının sağlanması

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3.2.1)$$

bağıntısıyla gerçekleşir.



Şekil 3.2. Bragg saçılması [32]

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi d düzlemler arasındaki mesafe, θ gelen ışınlarla düzlem arasındaki açı, λ X-ışınının dalgaboyu ve n yansımanın kaçınıcı düzlemler arasında olduğunu belirten yansıma mertebesidir. Düzleme gelen G_1 ve G_2 ışınları örgü noktasındaki atomlardan Y_1 ve Y_2 ışınları olarak saçılırlar, gelen ve yansıyan ışınların arasındaki açı 2θ olup bu kırınım açısı olarak bilinir.

Malzemenin kristal yapısı hakkında bilgi sahibi olmak için, numuneye dalgaboyu bilinen ışın gönderilir ve yapıcı girişimin olduğu noktalardaki θ değerinin ölçülmesiyle Bragg kanunu kullanılarak kristal düzlemleri arasındaki d mesafesi bulunmuş olur. Yapıcı girişimin olduğu açılar X-ışını kırınımı deseninde pikler olarak görülür. Piklerin yüksekliği ve genişliği denklem 3.2.2 ile verilen Scherrer bağıntısında kullanılarak yansımanın olduğu örgü noktasındaki tanecik boyutu hesaplanır.

$$t = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad (3.2.2)$$

Burada, t tane büyüklüğü, λ kaynaktan gönderilen X-ışınının dalga boyu, B incelenen düzleme ait pikin FWHM (yarı yükseklikteki pik genişliği) değeri, θ incelenen yansımanın gerçekleştiği açıdır.

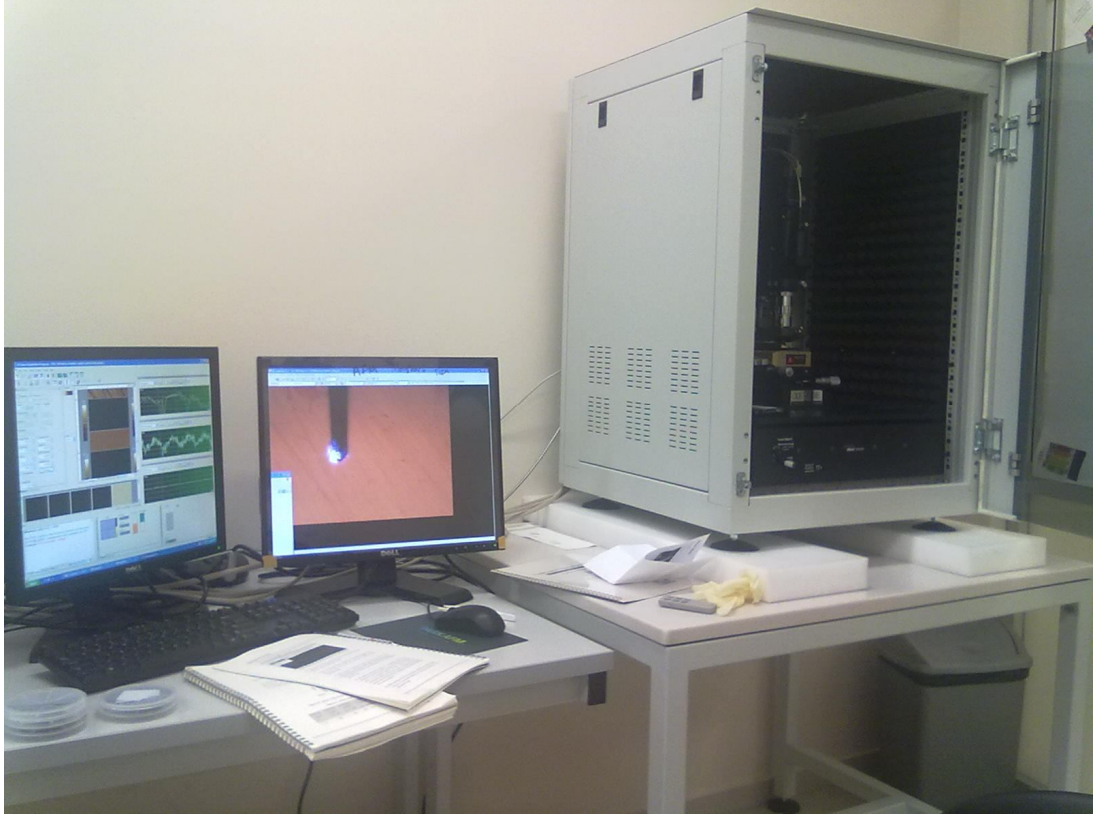
Günümüzde kristal yapısı incelenecek örneğin yapısına göre kullanılan farklı X-ışını kırınımı metotları mevcuttur.

GI-XRD (Grazing incidence X-ray diffraction) metodu çok ince yapıdaki malzemelerin X-ışını difraksiyonunda kullanılan bir metottur. Klasik XRD analizi çok ince malzemelerde beklenen sonuçları vermekte yetersiz kalmaktadır. Özellikle çok ince filmler için geliştirilen GI-XRD metodu, X-ışınının örneğe çok küçük geliş açılarında yollanarak gerçekleştirilen bir süreçtir. Küçük açıda gelen ışın, X-ışını tarafından kat edilen mesafenin dikkate değer bir şekilde artmasına böylece ince filmin yapısının analiz edilebilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada incelenen manyetik filmler 40-46 nm kalınlığında olduğundan XRD analizleri Resim 3.2.'de verilen Rigaku Ultimate IV XRD cihazında GI-XRD yöntemi ile yapılmıştır.

3.3. Manyetik Kuvvet Mikroskobu (MFM)

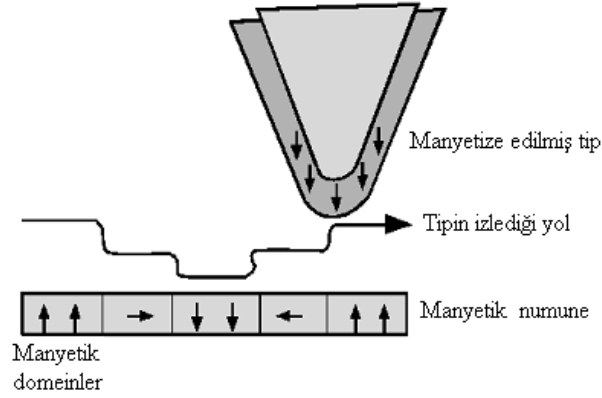
AFM optik çözünürlük sınırının 1000 katına kadar yükselen, nano boyutta örnek incelemeye imkân tanıyan çözünürlüğe sahiptir. Hem AFM hem de MFM cihazında cihazın ucuna takılan iğne(tip) ile numunenin yüzeyi incelenir. Yüzeye temas etmeden yapılan ölçümlerde iğne-örnek arasındaki mesafe sabit tutabilmek için bir geribesleme mekanizması vardır [42]. Çünkü iğnenin istenmeyen bir şekilde yüzeye değmesi, kırılmasına ve numunenin zarar görmesine yol açabilir. Hem AFM hem de MFM cihazında iğne-numune arası mesafenin ayarlanması ve analiz sonuçları Resim 3.3.'de görüldüğü gibi özel yazılım yardımıyla bilgisayar ekranından takip edilir.



Resim 3.3. Bilgisayar kontrol ünitesi ile AFM cihazı

AFM, ince filmlerin yüzey morfolojisi karakterizasyonunda kullanılan en önemli tekniklerden biridir. AFM, yüzeye temas etmeden ve yüzeye temas edecek şekilde iki modda çalışmaktadır. Yüzeye temas etmeden yapılan AFM analizinde örnek modifiye edilmemiş olur. Yüzeye temas ederek yapılan analizde ise örnek yüzeyindeki istenmeyen atomlar uzaklaştırılabilir veya yüzeye istenen atomlar eklenebilir. Yüzeye temas etmeden yapılan AFM analizi, temas ederek yapılandırılardan daha iyi sonuç verdiği için yaygın olarak kullanılmaktadır [40].

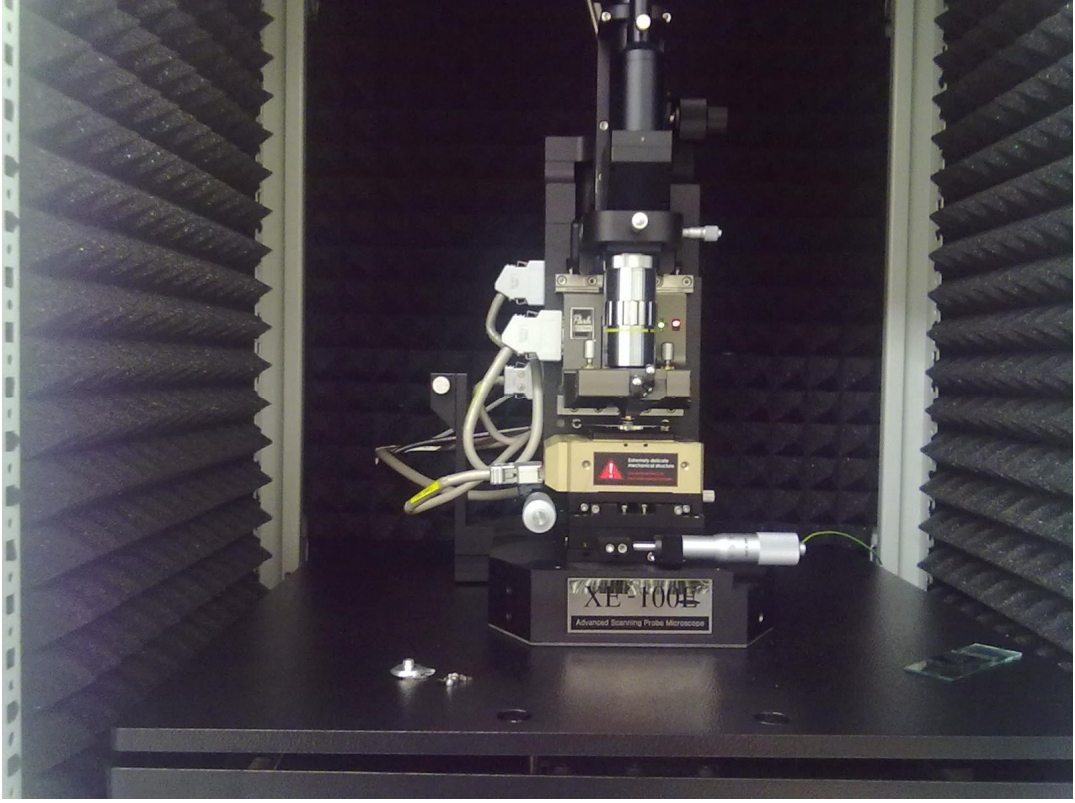
MFM, aslında AFM cihazı olup, AFM' den farkı analizde kullanılan iğnenin manyetik olması ve numuneyle manyetik etkileşmeye geçerek örneğin manyetik karakteristiğini inceleme imkânı tanınmasıdır. Şekil 3.3.'de bir MFM analizi gösterilmektedir.



Şekil 3.3. MFM analizi [3]

MFM analizi herhangi bir AFM cihazıyla yapılmaktadır. AFM cihazını MFM ölçümü almak için yapılması gereken iğnenin manyetik bir iğneyle değiştirilmesi ve cihazın bilgisayar kontrol ünitesinde gerekli ayarlamaların yapılmasından ibarettir. MFM analizi AFM analizi prensibiyle çalışır. Manyetik iğne yüzeye çok yakın bir mesafeden (50 nm civarı) örneği tararken örneğin yüzeyindeki manyetik domeinlerle etkileşerek, yüzeyin manyetik karakteristiğini çıkarır. Sağlıklı bir MFM analizinde dikkat edilmesi gereken noktalardan biride, iğnenin mıknatıslığının, örneğin mıknatıslığı ile etkileşiminin sonucu olarak zamanla değişebilmesidir. MFM analizleri yapılırken genelde bir süre sonra iğne değiştirilir veya bu işlem için tasarlanmış bir mıknatıslandırıcı içinde bekletilerek mıknatıslığı tekrar kazandırılır.

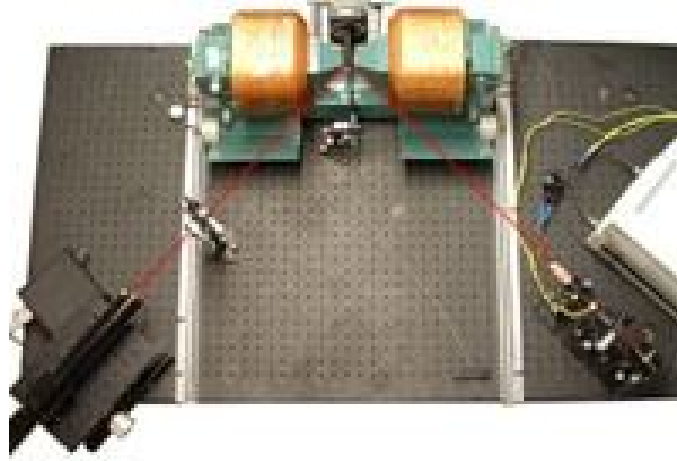
Bu tez çalışmasında filmlerin manyetik domein ölçümleri Resim 3.4.'de görülen Park Systems XE-100E modeli AFM cihazında yapılmıştır.



Resim 3.4. AFM (MFM) cihazı

3.4. Manyeto-Optik Kerr Manyetometresi (MOKE)

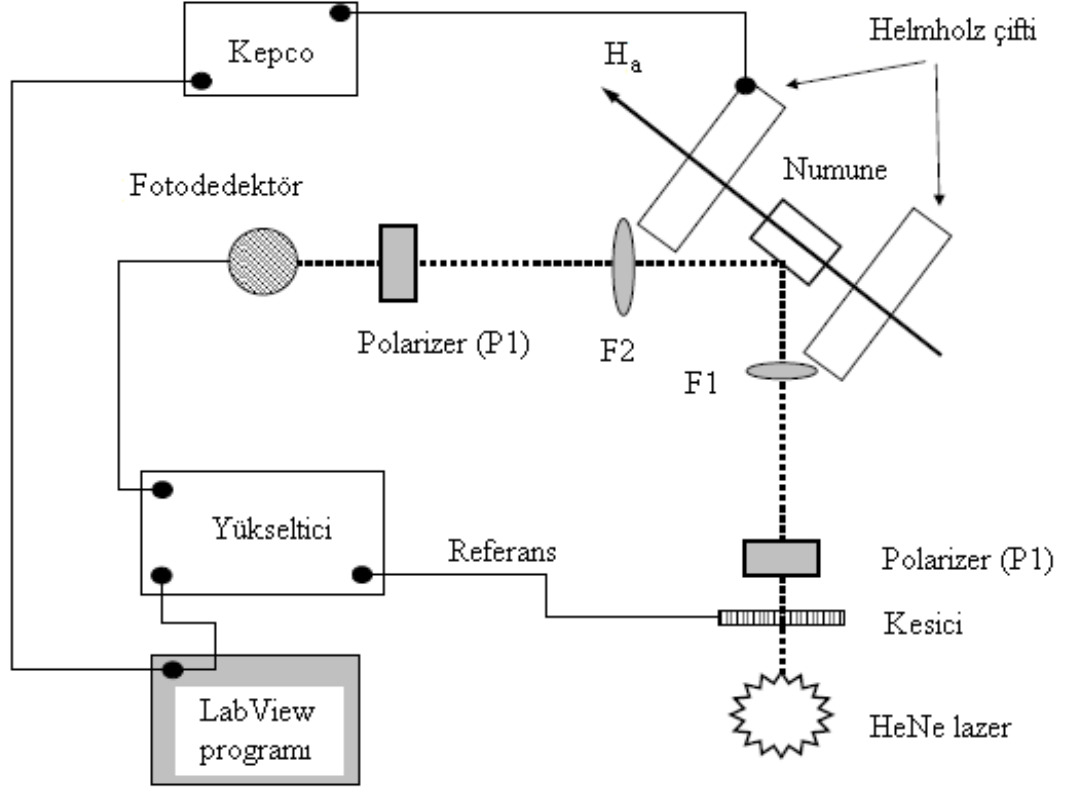
Işık ve manyetik malzeme arasındaki etkileşim ilk defa 1845 yılında Faraday tarafından gözlenmiştir. 1877’de John Kerr ışığın ferromanyetik bir malzemedan yansımada, polarizasyonunun değişeceğini, günümüzde Manyeto-Optik Kerr etkisi olarak adlandırılan olguyu açıklamıştır. Polarize bir ışın demeti manyetik bir malzemedan yansıdığında polarizasyonu eliptik hale geldiği (Kerr eliptikliği) ve eksenin döndüğü (Kerr rotasyonu) bilinmektedir. Dönmenin ve eliptikliğinin miktarı malzemenin mıknatıslığı ile doğru orantılıdır. Işık manyetik bir malzemedan yansısıyla, polarizasyonundaki değişimin ölçülerek malzemenin mıknatıslığının ölçüldüğü metot, Manyeto-Optik Kerr Manyetometresi olarak (MOKE) bilinmektedir. Resim 3.5.’de bir MOKE cihazı görülmektedir. Numune değişken manyetik alan oluşturabilen bobinler arasına yerleştirilerek, maddenin mıknatıslığının değişimi incelenebilmektedir.



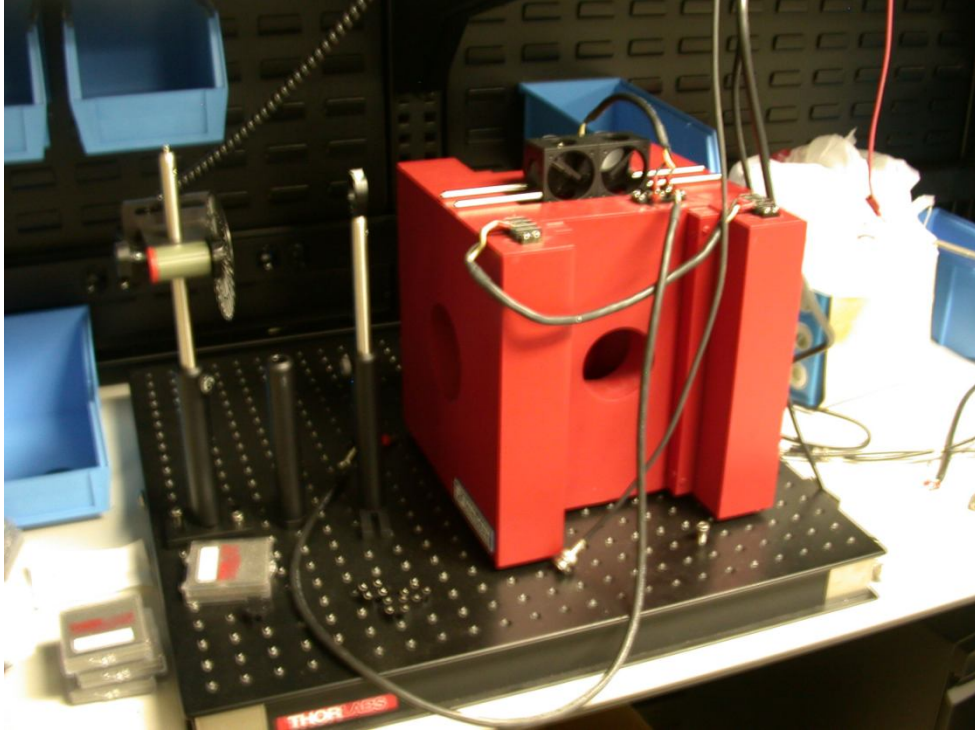
Resim 3.5. MOKE cihazı

Günümüzde manyetik bir maddenin yüksek hassasiyette manyetik karakteristiğinin yani histeresiz eğrisinin çıkarılması için, titreşimli örnek manyetometresi (VSM) veya Manyeto-Optik Kerr Manyetometresi (MOKE) yaygın olarak kullanılan metodlar olarak bilinir [20,23,43]. Her iki metodun kendilerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. VSM cihazı vakum ortamında çalıştığından, bir numunenin analizi birkaç saat sürerken, bir MOKE ölçümü yarım saatten kısa sürede tamamlanmaktadır.

Bu çalışmada filmlerin histeresiz eğrileri MOKE cihazı ile elde edilmiştir. Kullanılan MOKE cihazının çalışma şeması Şekil 3.4.'de gösterilmektedir. Kullanılan He-Ne lazer 30 mW gücünde ve yükseltici frekansı 1 kHz'dir. Numunenin yüksek hassasiyette manyetik ölçümü için lazer ışınını birkaç yüz metre mertebesinde odaklayabilen biokonveks mercek (F1) kullanılmıştır. Helmholtz bobinleri 40 Oe civarında manyetik alan oluşturabilmektedir. Numuneden yansıyan ışının fotodedektör tarafından ölçümünden önce paralellliğini düzenleyen başka bir konveks mercek (F2) kullanılmıştır. Foto-dedektörden alınan veriler Lab View programı ile işlenmektedir. Kullanılan MOKE cihazı Resim 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.4. Kullanılan MOKE cihazının şeması



Resim 3.6. Kullanılan MOKE cihazı

3.5. CoFe Filmlerinin Üretimi

Bu çalışma kapsamında 5 farklı manyetik film üretildi. Filmlerin tamamı hazır olarak temin edilen Si (110) altlıkların üzerine üretildi. Si altlıklar depolama öncesinde sıçratma cihazında 40 saniyelik(s) ön-temizlik işlemine tabi tutuldu. Sıçratma sisteminde hedef olarak $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$, Au, Co, Cu ve $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ kullanıldı. Filmlerde kullanılan hedeflerin sıçratma cihazındaki depolama parametreleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir. İki tabakalı filmler iki aşamada sırayla büyütüldü ve filmlerin kolay eksenlerinin belirlenmesi için sıçratma sisteminde manyetik tutucu kullanıldı. Üretilen filmlerin üretim yöntemi her film için aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

3.5.1. 40 nm CoFe filminin üretimi

Öncelikle Si (110) altlığa 40 s süreyle 40 W güçte sıçratma cihazında ön-temizlik işlemine tabi tutuldu. Altlığın temizlenmesinin ardından sıçratma cihazına hedef olarak $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ yerleştirildi. Sıçratma 300 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında gerçekleştirildi. Sıçratma sisteminde CoFe hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde $1,62 \text{ A}^0/\text{s}$ ile altlığa depolama yaptığından, 40 nm CoFe tabakası için sistem 247 s çalıştırılarak CoFe film üretildi.

3.5.2. 6 nm Au/ 40 nm CoFe filminin üretimi

Si (110) altlığa önceki filmde olduğu gibi yine aynı süre ve güçte sıçratma cihazında ön-temizlik işlemi yapıldı. Altlığın temizlenmesinin ardından sıçratma cihazına hedef olarak Au yerleştirildi. 6 nm Au katmanı altlık üzerine 150 W güç ve 1mTorr Ar gazı basıncında kaplandı. Au hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde $4 \text{ A}^0/\text{s}$ ile altlığa depolama yaptığından, 6 nm Au alttabaka için sıçratma sistemi 15 s çalıştırıldı. Daha sonra sıçratma cihazına hedef olarak $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ yerleştirildi. 40 nm'lik CoFe katmanının Au katmanının üzerine üretimi 300 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında gerçekleştirildi. CoFe hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde $1,62 \text{ A}^0/\text{s}$ ile altlığa depolama yaptığından, 40 nm CoFe tabakası için sistem 247 s çalıştırılarak Au/CoFe film üretildi.

3.5.3. 6 nm Cu/ 40 nm CoFe filminin üretimi

Si (110) altlığın aynı şekilde temizlenmesinin ardından sıçratma cihazına hedef olarak Cu yerleştirildi. 6 nm Cu katmanı altlık üzerine 300 W güç ve 2mTorr Ar gazı basıncında kaplandı. Cu hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde 2,26 A⁰/s ile altlığa depolama yaptığından, 6 nm Cu alttabaka için sıçratma sistemi 26,55 s çalıştırıldı. Daha sonra sıçratma cihazına hedef olarak Co₉₀Fe₁₀ yerleştirildi. 40 nm'lik CoFe katmanının Cu katmanının üzerine üretimi 300 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında gerçekleştirildi. CoFe hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde 1,62 A⁰/s ile altlığa depolama yaptığından, 40 nm CoFe tabakası için sistem 247 s çalıştırılarak Cu/CoFe film üretildi.

3.5.4. 6 nm Cr/ 40 nm CoFe filminin üretimi

Si (110) altlığın aynı şekilde temizlenmesinin ardından sıçratma cihazına hedef olarak Cr yerleştirildi. 6 nm Cr katmanı altlık üzerine 300 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında kaplandı. Cr hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde 2 A⁰/s ile altlığa depolama yaptığından, 6 nm Cr alttabaka için sıçratma sistemi 29,7 s çalıştırıldı. Daha sonra sıçratma cihazına hedef olarak Co₉₀Fe₁₀ yerleştirildi. 40 nm'lik CoFe katmanının Cr katmanının üzerine üretimi 300 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında gerçekleştirildi. CoFe hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde 1,62 A⁰/sn ile altlığa depolama yaptığından, 40 nm CoFe tabakası için sistem 247 s çalıştırılarak Cr/CoFe film üretildi.

3.5.5. 6 nm NiFe/ 40 nm CoFe filminin üretimi

Si (110) altlığın aynı şekilde temizlenmesinin ardından sıçratma cihazına Ni₈₀Fe₂₀ hedef yerleştirildi. 6 nm NiFe katmanı Si altlık üzerine 400 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında kaplandı. Ni₈₀Fe₂₀ hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde 2,38 A⁰/sn ile altlığa depolama yaptığından, 6 nm NiFe alttabaka için sıçratma sistemi 25,2 sn çalıştırıldı. Daha sonra sıçratma cihazına hedef olarak Co₉₀Fe₁₀ yerleştirildi. 40 nm'lik CoFe katmanının NiFe katmanının üzerine üretimi 300 W güç ve 3mTorr Ar gazı basıncında gerçekleştirildi. CoFe hedefin verilen basınç ve güç parametrelerinde 1,62 A⁰/s ile altlığa depolama yaptığından, 40 nm CoFe tabakası için sistem 247 sn çalıştırılarak NiFe/CoFe film üretildi.

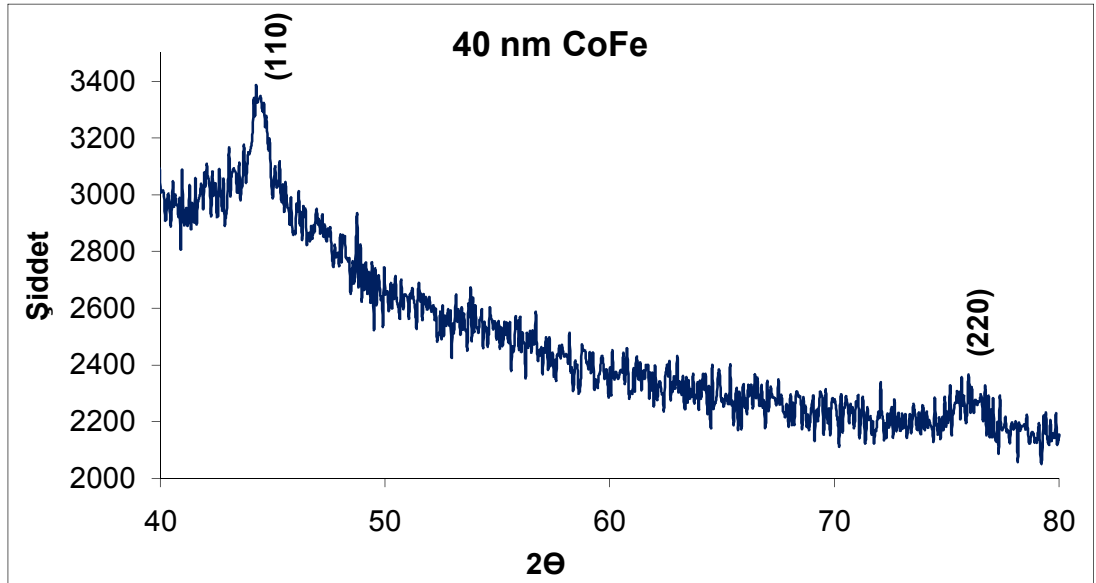
Çizelge 3.1. Sıçratma parametreleri

Parametreler	Ar basıncı	Sıçratma gücü	Kaplama Hızı	Süre
40 nm CoFe	3 mTorr	300 W	1,62 A ⁰ /s	247 s
6 nm Au	1 mTorr	150 W	4 A ⁰ /s	15 s
6 nm Cu	2 mTorr	300 W	2,26 A ⁰ /s	26,55 s
6 nm Cr	3 mTorr	300 W	2 A ⁰ /s	29,7 s
6 nm NiFe	3 mTorr	400 W	2,38 A ⁰ /s	25.2 s

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

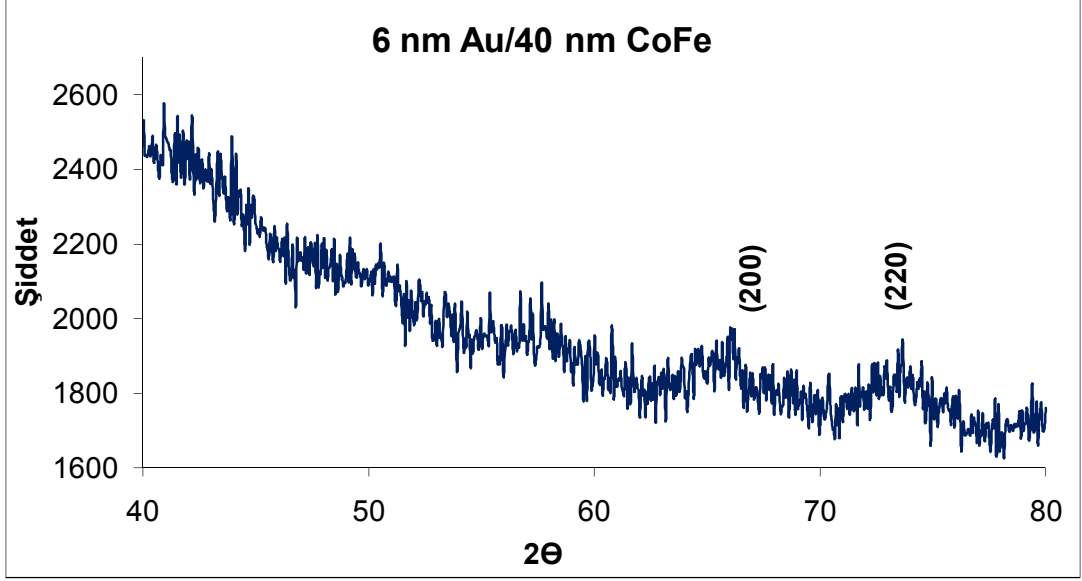
4.1. XRD Sonuçları

Rigaku Ultimate IV XRD cihazıyla GI-XRD yöntemi kullanılarak 5 manyetik filmin yapısı incelenmiştir. GI-XRD sonuçları filmlerin kristal yapı yönelimleri, tanecik boyutları ve alttabaka kullanımının bu özelliklere etkisini inceleme fırsatı vermektedir. Alttabaka kullanılan filmlerde genellikle tercih edilen yapı yöneliminin değiştiği bilinmektedir [44]. Birçok filmde de alttabaka kullanıldığında tanecik boyutundaki küçülmeye bağlı olarak XRD desenindeki pikler küçülmektedir [15]. Bu bilgiler ışığında filmlerin XRD desenlerinde, 4 filmde değişik elementler kullanılarak oluşturulan 6 nm' lik alttabakalara ait pik gözlenmesi beklenmemektedir. Bunun nedeni olarak alttabakaların pik veremeyecek kadar ince olması veya amorf yapıda olması olabilir [45]. Önceki çalışmalarda da benzer filmlere ait XRD sonuçlarında da 5 nm civarındaki alttabakalara ait pik gözlenmemiştir [15,19,20,24,44].



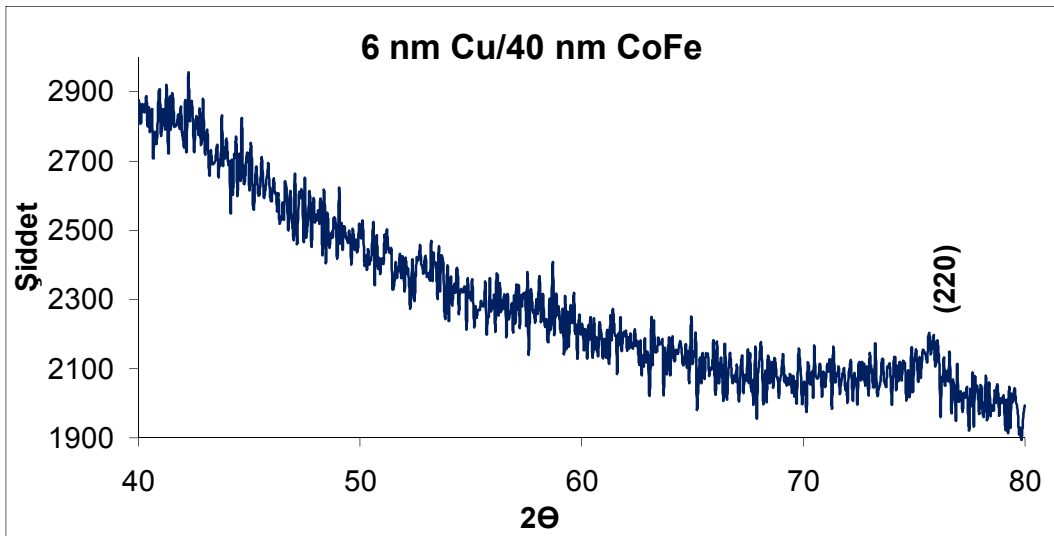
Grafik 4.1. CoFe (40 nm) filminin XRD analizi

Grafik 4.1.'de görüldüğü gibi alttabakasız Si altlık üzerine üretilen CoFe filmde kristal yapı ağırlıklı olarak bcc(110) yapıdadır. Zayıf (220) yönelimi olduğu da görülmektedir.



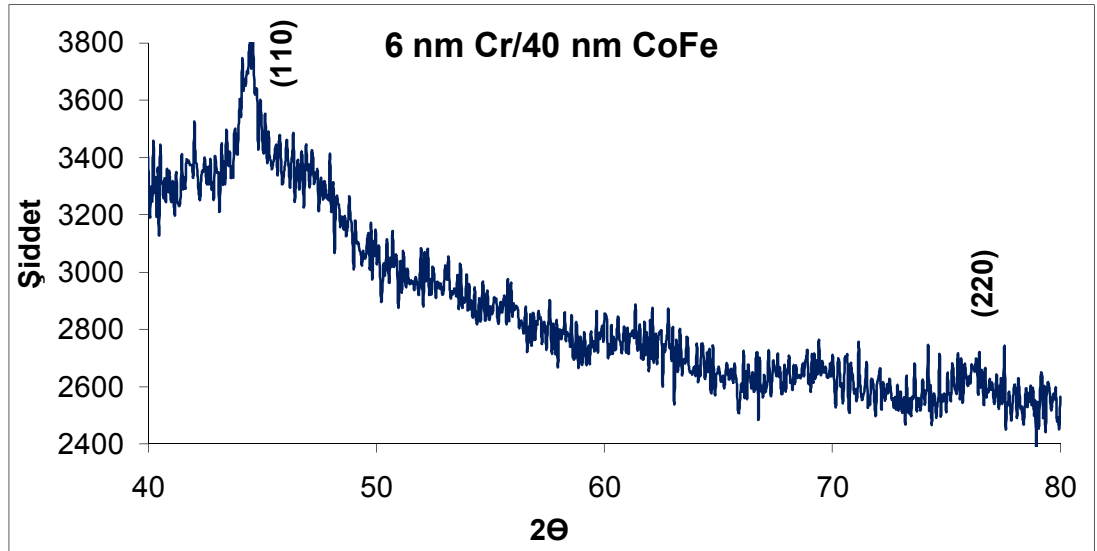
Grafik 4.2. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi

Grafik 4.2.'de 6 nm Au alttabaka üzerine üretilen CoFe filme ait XRD desenine bakıldığında Au altlığın film yapısını oldukça değiştirdiği görülmektedir. Bu filmde (110) yönelimine ait pik görülmemektedir. Zayıf (200) ve alttabakasız CoFe filminde de görülen yine zayıf (220) pikleri görülmektedir. Bu iki film incelendiğinde alttabaka kullanımının film yapısı üzerinde oldukça etkili olduğu anlaşılmıştır. Filme ait kırınım piklerinin şiddetlerinin az olması bu filmin tanecik boyutunun alttabakasız CoFe filmine göre düştüğünü düşündürmektedir. Filme ait koersivite değeride bu sonucu desteklemektedir.



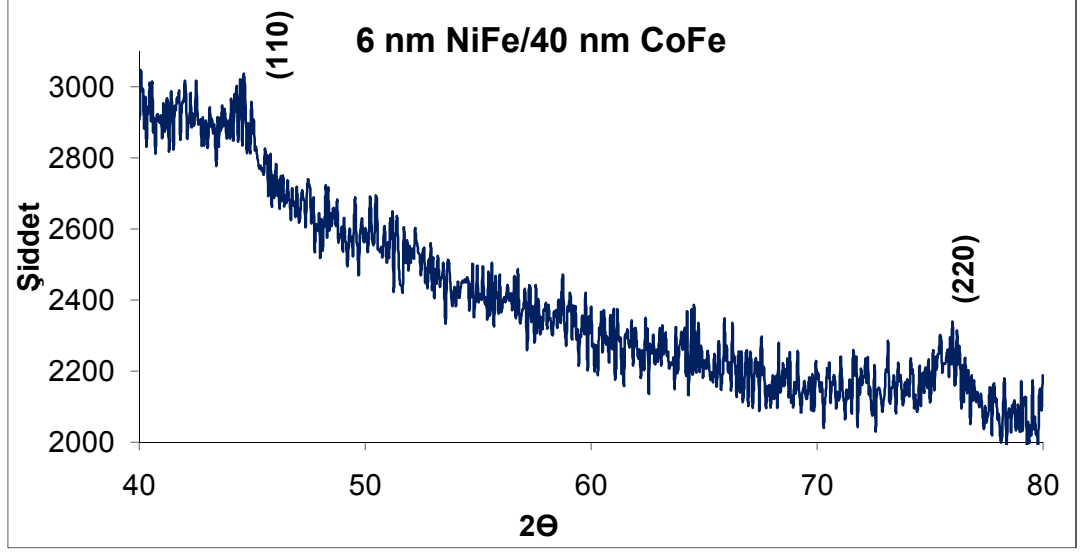
Grafik 4.3. Cu (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi

Grafik 4.3.'de 6 nm Cu alttabaka üzerine üretilen CoFe filme ait XRD desenine bakıldığında Cu altlığın film yapısını oldukça değiştirdiği görülmektedir. Cu alttabaka ile Au alttabaka üzerine üretilen filmlerde görülen fark Cu/CoFe filmde (200) yöneliminin görülmemesidir. Bu filmde de (110) yönelimine ait pik görülmemektedir. Alttabakasız CoFe filmde de görülen, zayıf (220) piki görülmektedir. Bu filmde de alttabaka kullanımının film yapısı üzerinde etkili olduğu açıktır. Filme ait kırınım pikinin şiddetinin alttabakasız CoFe filmine göre az olması ancak Au/CoFe filminden fazla olması tanecik boyutu ile ilişkilendirilebilir. Cu/CoFe filminin koersivite değerinin Au/CoFe filminden yüksek, CoFe filminden düşük olması da bu sonucu desteklemektedir.



Grafik 4.4. Cr (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi

Grafik 4.4.'de 6 nm Cr alttabaka üzerine üretilen CoFe filme ait XRD desenine bakıldığında bu filmin yapısının alttabakasız CoFe filmine oldukça benzer yapıda olduğu anlaşılmaktadır. bcc (110) yönelimine ait güçlü ve (220) yönelimine ait zayıf pikler vardır. Filmin alttabakasız üretilen CoFe filmine göre yapısının pek değişmemiş olması, manyetizasyon eğrisi ve koersivite değerinde değişmemesi olarak sonuçlanmıştır.

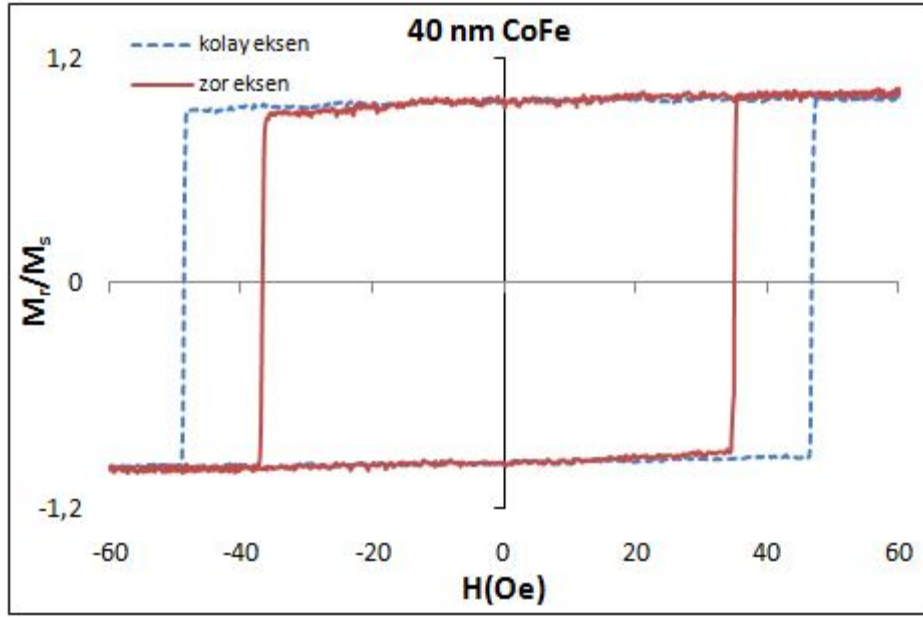


Grafik 4.5. NiFe (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin XRD analizi

Grafik 4.5.'de görülen 6 nm NiFe alttabaka üzerine üretilen CoFe filme ait XRD deseni incelendiğinde Au ve Cu alttabakada olduğu gibi yapının değiştiği görülmektedir. NiFe/CoFe filmde zayıf (110) yönelimi, nispeten yüksek (220) piki görülmektedir. Alttabakasız CoFe filmde baskın olan (110) yöneliminin NiFe/CoFe filmde (220) olarak değiştiği söylenebilir. Pikin şiddeti yine alttabakasız CoFe filmine kıyasla NiFe/CoFe filmde tanecik boyutunun azaldığını işaret etmektedir. Manyetizasyon eğrisinden alınan NiFe/CoFe filmde ait düşük koersivite değerinde tanecik boyutunda öngörülen azalma ile uyumludur.

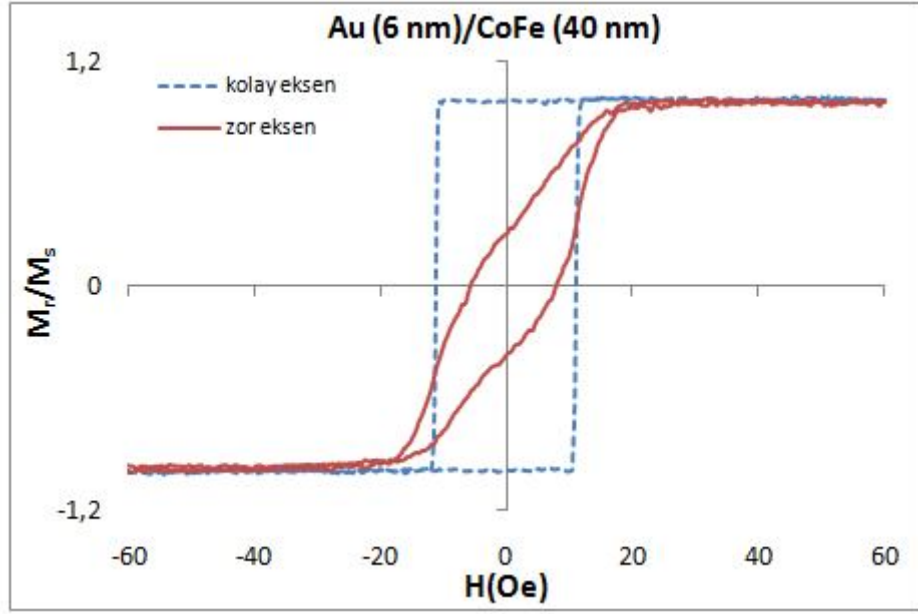
4.2. Manyetizasyon Ölçüm Sonuçları

Beş farklı filme ait histeresiz eğrileri MOKE düzeneği kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada incelenen tüm filmler, ferromanyetik maddelerin bir özelliği olan histeresiz eğrisine sahiptir. MOKE ile elde edilen manyetik malzemelere ait histeresiz eğrisinden filmlerin ferromanyetik yapısı, koersivite değeri gibi özellikleri incelenerek istenen yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip olup olmadıkları hakkında fikir sahibi olunmaktadır [43]. Histeresiz eğrilerinin incelenmesi filmlerde kullanılan alttabakaların filmlerin manyetik özelliklerine etkisini de inceleme imkânı sağlamaktadır.



Grafik 4.6. CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi

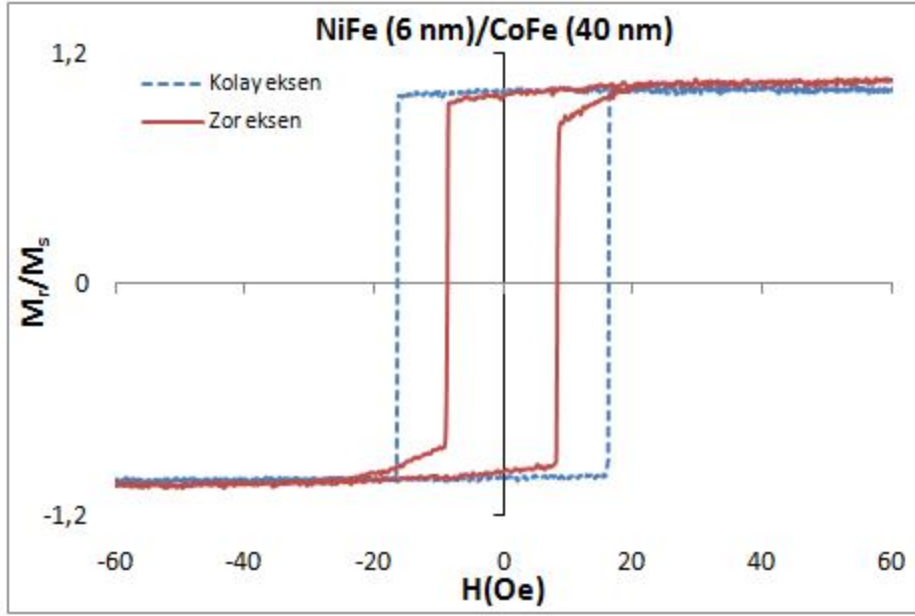
Grafik 4.6.'da görüldüğü gibi CoFe film ferromanyetik malzemelerin bir özelliği olan histeresiz eğrisine sahiptir. Alttabaka kullanılmadan Si altlık üzerine kaplanan CoFe filmin, sıçratma ile üretilen Fe-Co bazlı tüm filmlerde olduğu gibi yüksek koersiviteye sahip olması beklenir. Grafik 4.6.'da görüldüğü gibi CoFe film yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip olmadığını gösteren yüksek koersivitesi vardır. CoFe filmin zor eksen koersivitesi (H_{ch}) 37 Oe, kolay eksen koersivitesi (H_{ce}) 49 Oe olarak ölçülmüştür. Bu sonuç literatürdeki Fe-Co alaşımları üzerine yapılan ölçümlerde genel olarak elde edilen 50 Oe civarındaki değerle uyumludur.



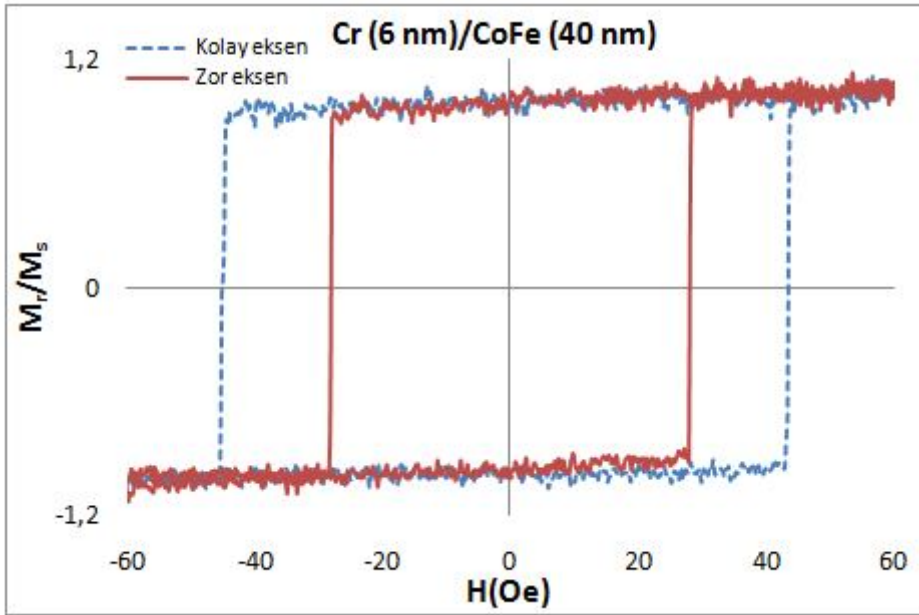
Grafik 4.7. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi

Grafik 4.7.'de görüldüğü gibi 6 nm'lik Au alttabaka üzerine üretilen CoFe filme ait histeresiz eğrisinin alttabakasız CoFe filme kıyasla oldukça değiştiği görülmektedir. Au alttabaka filmin koersivitesinin düşürülmesinde oldukça etkili olmuştur. Au/CoFe filme ait zor eksen koersivitesi (H_{ch}) 4,6 Oe, kolay eksen koersivitesi (H_{ce}) 11 Oe olarak ölçülmüştür. Koersivite değerine bakıldığında Au/CoFe filmin yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip olduğu söylenebilir.

NiFe alttabaka üzerine üretilen CoFe filme ait histeresiz eğrisi Grafik 4.8.'de görüldüğü gibi alttabakasız CoFe filminden farklıdır. Au gibi NiFe alttabaka filmin koersivite değerlerinin azalmasında etkili olmuştur. NiFe/CoFe filme ait zor eksen koersivitesi (H_{ch}) 8,5 Oe, kolay eksen koersivitesi (H_{ce}) 16 Oe olarak, Au/CoFe filminden daha yüksek değerler göstermiştir. Ancak manyetizasyon eğrisinden de anlaşıldığı gibi 10 Oe'den küçük çıkan zor eksen koersivitesiyle NiFe/CoFe manyetik film yumuşak mıknatıslık özellikleri gösteren bir yapıdadır.



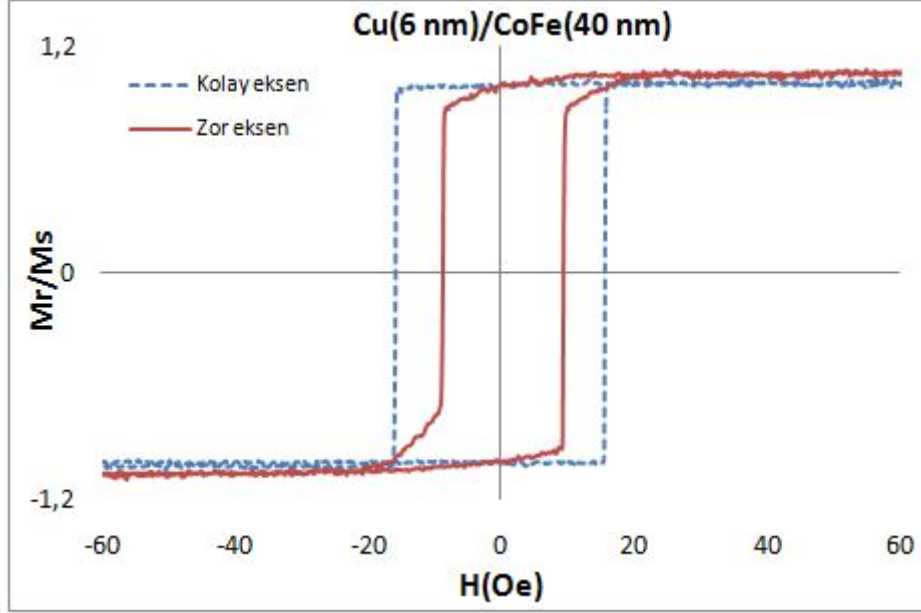
Grafik 4.8. NiFe (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi



Grafik 4.9. Cr (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi

Grafik 4.9.'da görülen Cr/CoFe filme ait histeresiz eğrisinin Cr alttabakanın kullanılmadığı CoFe filmine göre değiştiği görülmektedir. Ancak Cr alttabakanın CoFe filminin manyetizasyon eğrisi üzerindeki etkisi Au alttabaka kadar belirgin değildir. 28 Oe olarak ölçülen zor eksen koersivitesi (H_{ch}) ve 45 Oe olan kolay eksen koersivitesi

(H_{ce}) ile Cr/CoFe filminin koersivite değerlerinin istenen ölçüde düşmediği görülmektedir.

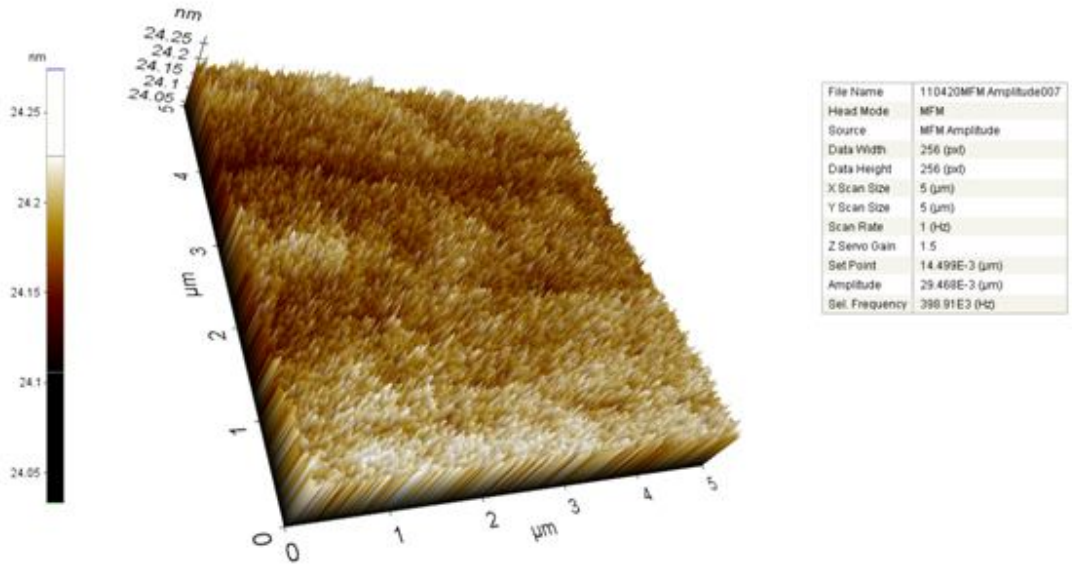


Grafik 4.10. Cu (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin manyetizasyon eğrisi

Grafik 4.10.'da görülen Cu/CoFe filme ait histeresiz eğrisi Cu alttabakanın CoFe filminin manyetizasyonu üzerine etkili olduğunu göstermektedir. Cu/CoFe filminin zor eksen koersivitesi (H_{ch}) yaklaşık olarak 8,5 Oe, kolay eksen koersivitesi (H_{ce}) 16 Oe olduğu görülmektedir. Cu alttabakanın da koersivitenin düşürülmesinde etkili bir alttabaka olduğu anlaşılmaktadır.

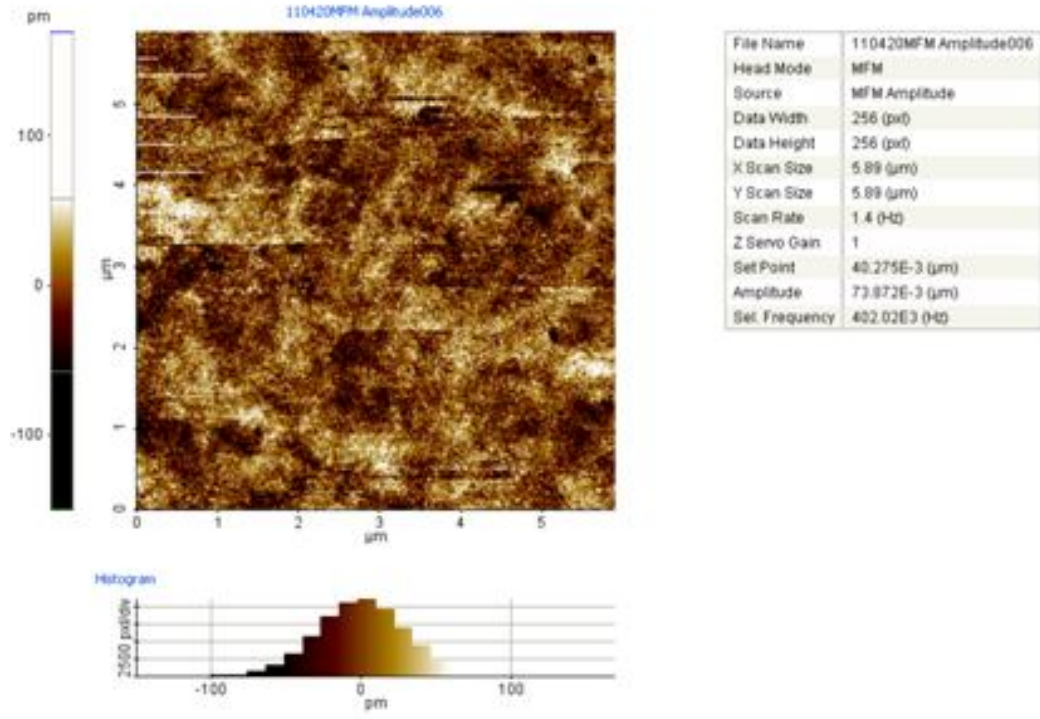
4.3. MFM Analiz Sonuçları

Filmlere ait MFM ölçümleri Park Systems XE-100E model AFM cihazında manyetik iğne kullanarak yüzeye dokunmadan yapılmıştır. MFM analizleri ile manyetik filmlerdeki manyetik domainlerin varlığı incelenmiştir

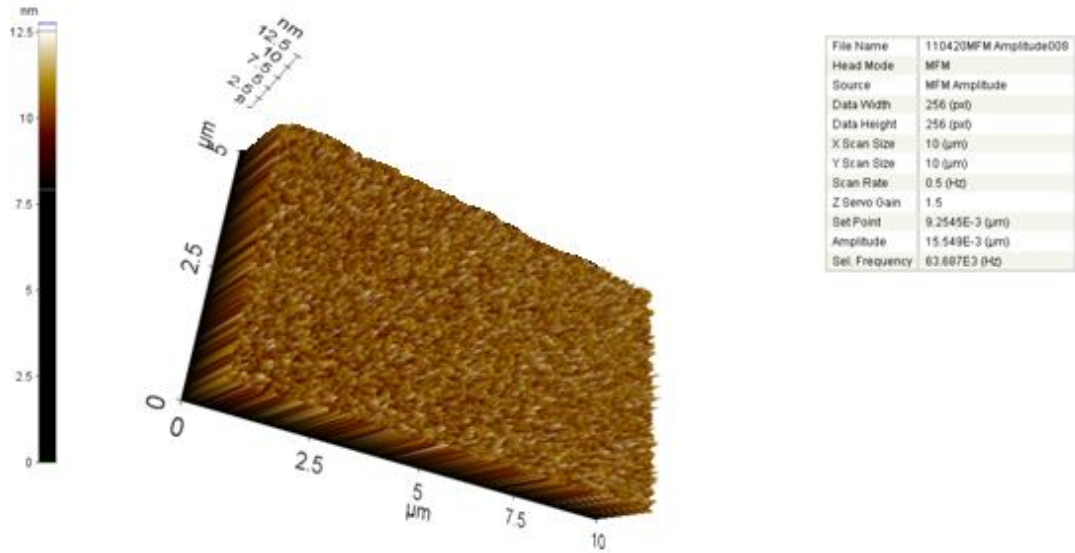


Şekil 4.1. CoFe filminin 3 boyutlu MFM görüntüsü

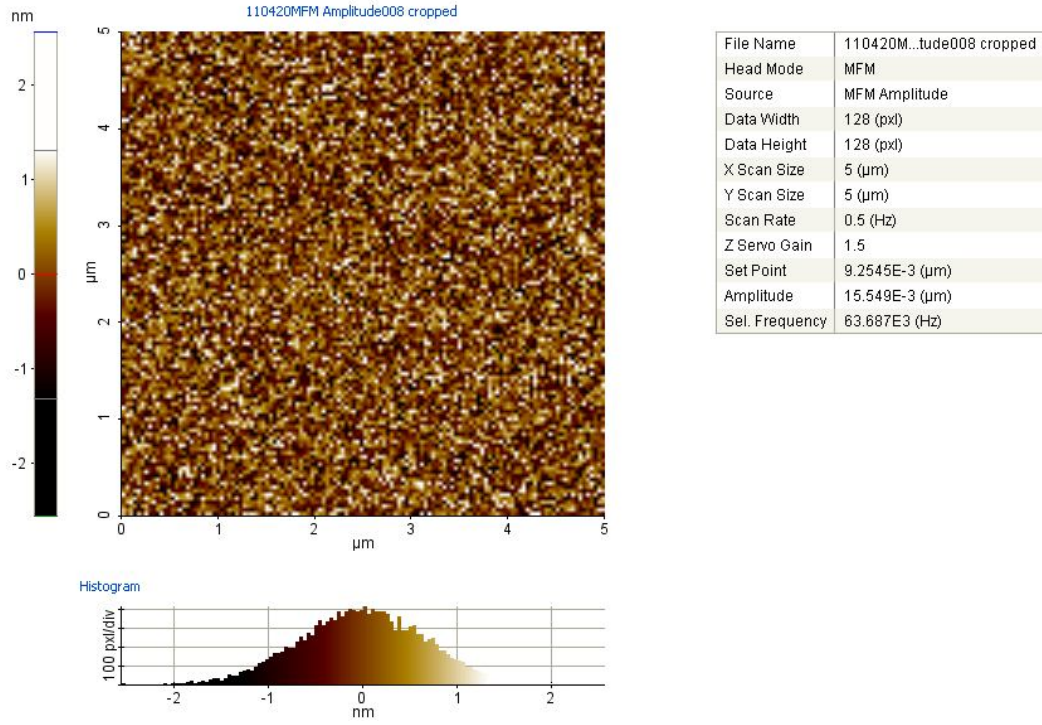
Şekil 4.1.'de alttabakasız CoFe filme ait MFM analiz sonuçları verilmektedir. Analizle ilgili diğer MFM parametreleri yan tarafta verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi alttabakasız üretilen CoFe filmde, manyetik domeinler düzgünce sıralanmamış olmasına rağmen varlıkları açıkça görülmektedir. Şekil 4.2.'de bu domeinlerin 3 boyutlu görüntüsünde alınmıştır. CoFe filminin 40 Oe civarında koersivite değeri ölçülmüştür ve bu değer malzemede manyetik domein varlığını öngörmektedir.



Şekil 4.2. CoFe filminin MFM görüntüsü



Şekil 4.3. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin 3 boyutlu MFM görüntüsü

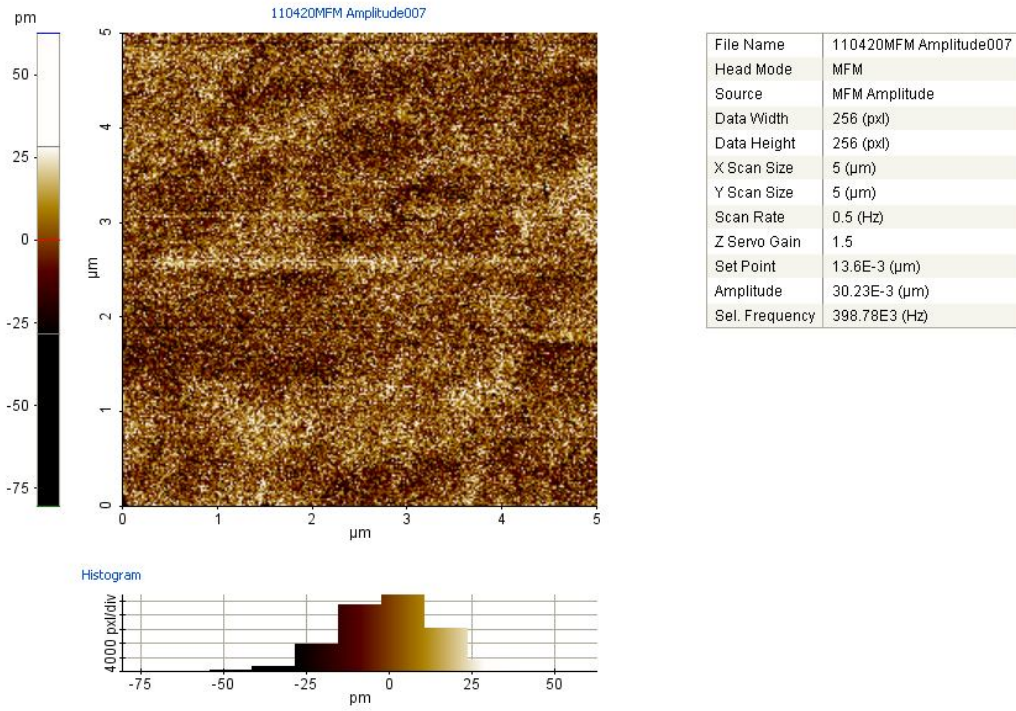


Şekil 4.4. Au (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin MFM görüntüsü

Au/CoFe filme ait Şekil 4.4’de MFM görüntüsü görülmektedir. Bu MFM analizine bakıldığında alttabakasız CoFe filmine kıyasla farklılık hemen göze çarpmaktadır. Au/CoFe filminde belirgin boyutlarda manyetik domeinler gözlenmemektedir. Şekil 4.3’de ise 3 boyutlu domein görüntüsü vardır. Bu bölgede de manyetik domein olmadığı görülmektedir.

Yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip filmlerde belirgin manyetik domein gözlenmemesi, malzemenin yumuşak mıknatıslık özellikleri azaldıkça yani koersivitesi yükseldikçe manyetik domeinlerin belirginleşmesi beklenmektedir. S.H. Kong ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada üretilen farklı manyetik filmlere ait MFM analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, FeCoB film NiFe alttabaka üzerine üretildiğinde koersivite değeri 43 Oe’den 5 Oe değerine düşmüştür. Yüksek koersiviteli FeCoB filmin MFM analizinde manyetik domein oluşumu görülürken, düşük koersiviteli NiFe/FeCoB filmde manyetik domeinler belirsizleşmiştir [20].

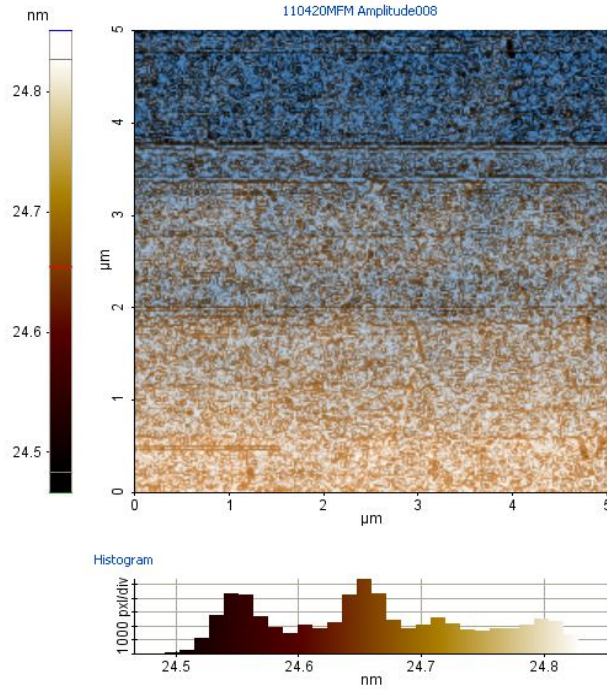
Bu bilgiler ışığında Au/CoFe filminin manyetik domein analiz sonuçlarının da S.H. Kong ve ark. tarafından yapılan çalışmayla uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Cr (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin MFM görüntüsü

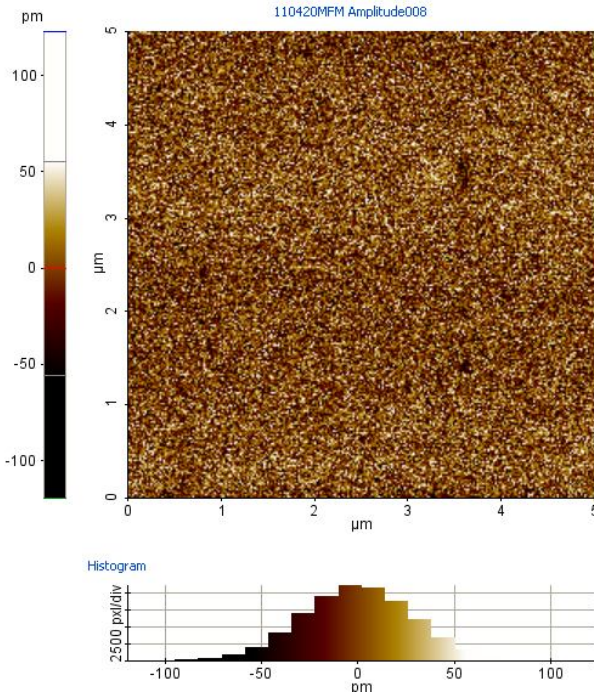
Şekil 4.5.'de Cr/CoFe filme ait MFM analiz sonuçları görülmektedir. Rastgele dağılmış olsada manyetik domeinlerin varlığı belli olmaktadır. Bu numune de ilk dikkat çeken husus Au/CoFe filminden farklı olarak Cr/CoFe filminin manyetik domein sonuçlarının alttabakasız CoFe film ile benzerlik gösterdiği dır. Cr/CoFe film ile CoFe film yapı analizi ve manyetizasyon eğrisi bakımından da benzerlik göstermiştir.

Şekil 4.6.'de görülen renklendirilmiş Cu/CoFe filme ait manyetik domein analizine bakıldığında belirgin domein yapısının bulunmadığı anlaşılmaktadır. Koersivite değerine bakıldığında bu numunenin de belirgin domeinlere sahip olmaması zaten beklenmektedir. Cu/CoFe filmine ait MFM analizi CoFe filminden farklı olup Au/CoFe filmine benzerlik göstermekte olduğu söylenebilir.



File Name	110420MFM Amplitude008
Head Mode	MFM
Source	MFM Amplitude
Data Width	256 (pxl)
Data Height	256 (pxl)
X Scan Size	5 (μm)
Y Scan Size	5 (μm)
Scan Rate	0.5 (Hz)
Z Servo Gain	1.5
Set Point	13.8E-3 (μm)
Amplitude	30.23E-3 (μm)
Sel. Frequency	398.78E3 (Hz)

Şekil 4.6. Cu (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin MFM görüntüsü



File Name	110420MFM Amplitude008
Head Mode	MFM
Source	MFM Amplitude
Data Width	256 (pxl)
Data Height	256 (pxl)
X Scan Size	5 (μm)
Y Scan Size	5 (μm)
Scan Rate	2.5 (Hz)
Z Servo Gain	1.5
Set Point	15E-3 (μm)
Amplitude	30.826E-3 (μm)
Sel. Frequency	399.01E3 (Hz)

Şekil 4.7. NiFe (6 nm)/CoFe (40 nm) filminin MFM görüntüsü

Şekil 4.7.'de NiFe/CoFe filme ait MFM analizine bakıldığında manyetik domain yapısının bulunmadığı görülmektedir. NiFe/CoFe filminin manyetik domain analizi

Au/CoFe film ile oldukça benzerlik göstermektedir. İki numune arasındaki MFM analiz sonuçlarının benzerliği manyetizasyon eğrisi ve koersivite değerlerinde de vardır. NiFe alttabakanın CoFe filminin manyetik domein yapısı üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında manyetik kayıt cihazlarının, okuma-yazma kafalarında kullanılabilir yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemeler üretilmeye çalışılmıştır. Daha yüksek çalışma frekansına sahip kayıt cihazlarının geliştirilmesinde, yumuşak mıknatıslık özellikleri geliştirilmiş düşük koersivite ve yüksek manyetik doyum değerine sahip okuma-yazma kafalarının geliştirilmesi zorunludur [5,6,9,22]. Bu kapsamda yapılan çalışmalar klasik manyetik kayıt cihazlarının okuma-yazma kafalarında kullanılan $Ni_{81}Fe_{19}$ yerine Fe-Co bazlı alaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Fe-Co bazlı alaşımlar sahip oldukları yüksek manyetik doyum değeri ile bu alanda kullanılmaya uygun malzemelerdir [25,28]. Ancak sıçratma gibi klasik üretim teknikleri ile üretilen FeCo bileşikler 50 Oe civarında koersivite değerine sahip olmaktadır. Yapılan çalışmalar FeCo bazlı alaşımların farklı elementlerle katkılanması, değişik alttabakalar üzerine depolanması ve farklı üretim teknikleri denenmesi gibi metodların üzerinde yoğunlaşmıştır [16-29]. Bu tez çalışmasında 4 farklı altlığın CoFe malzemeye yumuşak mıknatıslık özelliği kazandırıp kazandırmadığı incelenmiştir.

Üretilen numunelerin GI-XRD analizi ile kristal yapısı, MOKE analizi ile mıknatıslık özellikleri, MFM analizi ile manyetik domain formasyonu incelenmiştir. Yapılan analizlerin ışığında kullanılan alttabakaların CoFe malzeme üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan önceki çalışmalar FeCo filmler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu tez çalışması kapsamında literatürde fazla çalışılmamış $Co_{90}Fe_{10}$ üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmanın sonucunda CoFe filmlerde kullanılan bazı alttabakaların, yumuşak mıknatıslık özellikleri gösterme açısından oldukça etkili olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 5.1. Örneklerin koersivite değerleri

Numune	Koersivite H_{ch} (Oe)	Koersivite H_{ce} (Oe)
CoFe	36,7	48,6
Au/CoFe	4,9	11,1
NiFe/CoFe	8,5	16,3
Cr/CoFe	28	45
Cu/CoFe	8,7	15,8

Çizelge 5.1.'de verilen, histeresiz eğrilerinden elde edilen koersivite değerlerine bakıldığında Au alttabaka kullanılarak üretilen Au/CoFe filmin, NiFe alttabaka kullanılarak üretilen NiFe/CoFe filmin ve Cu alttabaka kullanılarak üretilen Cu/CoFe filmin yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip olduğu olduğu söylenebilir. Cr alttabaka kullanılarak üretilen malzemenin koersivite değerinde pek düşüş sağlanmadığından, bu altlığın CoFe filmin yumuşak mıknatıslık özellikleri kazanması açısından etkili olmadığı görülmüştür.

Malzemenin yumuşak mıknatıslık özellikleri kazanmasının, alttabakanın malzemenin kristal yapısında tercih edilen yönelimi değiştirmesiyle ve maddenin tanecik boyutunun düşürülmesiyle sağladığı bilinmektedir [15,19,21,44].

Bu çalışmada yumuşak mıknatıslık özelliklerine sahip malzemelerin üretiminde etkili olan alttabakaların filmin yapısal ve manyetik domeinleri üzerindeki etkisine bakıldığında, bu alttabakaların, filmin yapısı, tercih edilen yönelimi ve manyetik domein formasyonu üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Au, NiFe ve Cu alttabakalar üzerine üretilen CoFe filmlerin baskın kristal yapı yönelimlerinin (110)'dan (220)'a kaydığı ve baskın pik şiddetinin azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde alttabakasız üretilen CoFe filmde manyetik domein varlığından bahsedilirken, Au, NiFe ve Cu altık kullanılan filmlerde manyetik domeinlerin kaybolduğu söylenebilir.

Elde edilen sonuçlar ve bulgular literatürle uyum içinde olduğu ve özellikle alttabakaların filmin manyetik özellikleri üzerinde etkisi olduğu bu çalışmadan anlaşılmıştır.

Sonuç olarak yapılan çalışmanın neticesinde manyetik kayıt cihazlarının okuma-yazma kafalarında Au, NiFe ve Cu alttabakalar üzerine depolanarak üretilen $Co_{90}Fe_{10}$ filmlerin, bu cihazların tasarımında denenmesi uygun olabilecek malzemelerden olduğu görülmüştür. Cr alttabaka kullanılarak üretilen CoFe filmin ise, istenen özelliklere sahip olmadığı gözlemlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Gökteş, A., “Sol-Jel Metodu ile Manyetik Film Yapımı ve Karakterizasyonunun İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [2] Karaağaç, Ö., “CoCu Alaşım Filmlerin Elektrodpozisyonu, Yapısal ve Manyetik Özellikleri Üzerine Depozisyon Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [3] Das, A., “Prodding Magnetic Properties of Electrodeposited Co/Cu and Ni/Cu alloy Films by Scanning Probes”, Yüksek Lisans Tezi, Department of Metallurgical and Materials Engineering, National Institute of Technology, 2010.
- [4] Hollingworth, M. P., Gibbs, M. R. J., Hill, E. W., 2003. Surface, interface and bulk studies of NiFe nanometer films for magnetoresistive heads. *Journal of Applied Physics* 93, 8737-8739.
- [5] Dong, J., Thunuguntla, R., Gupta, S., Desai, M., “Investigation of high moment FeCo films for head writer applications”, Magnetics Conference, 2006. INTERMAG 2006. IEEE International, 133, USA, Mayıs 2006.
- [6] Kong, S.H., Okamoto, T., Nakagawa, S., “[Fe-Co/Si]_n Multilayers With High Saturation Magnetization for Backlayer of Perpendicular Magnetic Recording Media”, Magnetics Conference, 2002. INTERMAG Europe 2002. Digest of Technical Papers. 2002 IEEE International, FQ13, Ağustos 2002.
- [7] Piramanayagam, S.N., Soo, E.W., Wang, J.P., “Multilayered FeCo/FeCo-O Soft Magnetic Films for Recording Applications”, Magnetics Conference, 2002. INTERMAG Europe 2002. Digest of Technical Papers. 2002 IEEE International, AQ12, Ağustos 2002.
- [8] Y., Liu, F., Stoev, K., Dang, X., Tong, H., Huai, He, Q., Y., 2002. High-Performance Writer Using High-Moment Sputtered Films in Top and Bottom Poles. *Magnetics, IEEE Transactions on* 38, 2222-2224.
- [9] Katada, H., Shimatsu, T., Watanabe, I., Muraoka, H., Nakamura, Y., 2002. Soft Magnetic Properties and Microstructure of NiFe(Cr)/FeCo/NiFe(Cr) Films with Large Saturation Magnetization. *Magnetics, IEEE Transactions on* 38, 2225-2227.
- [10] Craus, C. B., “Magnetic Properties of Nanocrystalline Materials for High Frequency Applications” Yüksek Lisans Tezi, Solid State Physics Laboratory of the University of Groningen, 2003.

- [11] Kobayashi, T., Kato, H., Tsunashima, S., Iwata, S., 2009. Local Exchange Anisotropy of Microstructured CoFe/ MnIr (001) Bilayers. *Journal of Physics Conference Series* 200, 1-4.
- [12] Ng, V., Hu, J. F., Adeyeye, A. O., Wang, J. P., Chong, T. C., 2002. Factors Affecting Surface Roughness and Coercivity of Ni₈₀Fe₂₀ Thin Films. *Journal of Applied Physics* 91, 7206-7208.
- [13] Peng, D. L., She, H., Chen, Y., Yue, G.H., Katoh, R., Sumiyama, K., "Preparation and Magnetic Properties of Size-monodispersed Fe-Co Alloy Nanoclusters", *IEEE International Nanoelectronics Conference*, 1062-1065, China, Mart 2008.
- [14] Law, R., Sbiaa, R., Liew, T., Chong, T. C., 2008. Magnetoassistance and Switching Properties of Co-Fe/Pd-Based Perpendicular Anisotropy Single- and Dual-Spin Valves. *IEEE Transactions on Magnetics* 44, 2612-2615.
- [15] Jung, H. S., Doyle, W. D., Matsunuma, S., 2003. Influence of Underlayers on the Soft Properties of High Magnetization FeCo Films. *Journal of Physics* 93, 6442-6444.
- [16] Akhter, M. A., Mapps, D. J., Ma Ta, Y. Q., Petford-Long, A., Doole, R., 1997. Thickness and Grain-Size Dependence of the Coercivity in Permalloy Thin Films. *Journal of Physics* 81, 4122-4124.
- [17] Wang, S. X., Sun, N. X., Yamaguchi, M., Yabukami, S., 2000. Properties of a New Soft Magnetic Material. *Nature* 407, 150-151.
- [18] Sun, N. X., Wang, S. X., 2000. Soft High Saturation Magnetization (Fe_{0.7}Co_{0.3})_{1-x}N_x Thin Films For Inductive Write Heads. *IEEE Transactions on Magnetics* 36, 2506-2508.
- [19] Jung, H. S., Doyle, W. D., Wittig, J. E., Al-Sharab, J. F., Bentley, J., 2002. Soft Anisotropic High Magnetization Cu/FeCo films. *Applied Physics Letters* 81, 2415-2417.
- [20] Kong, S. H., Okamoto, T., Nakagawa, S., 2003. Fe-Co-B/Ni-Fe Soft Magnetic Underlayer with High-Saturation Magnetization for Perpendicular Magnetic Recording Media. *IEEE Transactions on Magnetics* 39, 2285-2287.
- [21] Yokoshima, T., Imai, K., Hiraiwa, T., Osaka T., 2004. Preparation of High-B_s Co-Fe Soft Magnetic Thin Films by Electrodeposition. *IEEE Transactions on Magnetics* 40, 2332-2334.
- [22] Fu, Y., Miyao, T., Yamakami, T., Yang, Z., Matsumoto, M., Liu, X., Morisako, A., 2005. Soft Anisotropic Fe₆₅Co₃₅/Co Thin Films Prepared by Facing Targets Sputtering. *IEEE Transactions on Magnetics* 41, 2905-2907.

- [23] Vopsaroiu, M., Georgieva, M., Grundy, P. J., Thwaites, M. J., O'Grady, K., 2005. Preparation of High Moment CoFe Films with Controlled Grain Size and Coercivity. *Journal of Applied Physics* 97, 10N303- 1-3.
- [24] Fu, Y., Cheng, X., Yang, Z., 2006. Soft Magnetic Properties and Microstructure of Fe₆₅Co₃₅ Thin Films with Different Underlayers. *Physica Status Solidi a* 203, 963-969.
- [25] Liu, X., Morisako, A., 2008. Magnetic Properties of FeCo Films Prepared by Co-Sputtering and Hydrogenous Gas Reactive Sputtering. *IEEE Transactions on Magnetics* 44, 3910-3913.
- [26] Liu, X., Morisako, A., 2008. Soft Magnetic Properties of FeCo Films with High Saturation Magnetization. *Journal of Applied Physics* 103, 07E726- 1-3.
- [27] Wang, X., Zheng, F., Liu, Z., Liu, X., Wei, D., Wei, F., 2009. Preparation of Soft Magnetic FeCo-based Films for Writers. *Journal of Applied Physics* 105, 07B714- 1-3.
- [28] Okada, Y., Hoshiya, H., Okada, T., Fuyama, M., 2004. Magnetic Properties of FeCo Multilayered Films for Single Pole Heads. *IEEE Transactions on Magnetics* 40, 2368-2370.
- [29] Chai, C., Guo, D., Li, X., Zhu, J., Sui, W., Xue, D., 2009. Magnetic Properties of (Co_{0.65}Fe_{0.35})_{1-x}(Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄)_x Bi-magnetic Composite Granular Films for High Frequency Application. *Journal of Physics D: Applied Physics* 42, 1-5.
- [30] Dunn, J. H., "Magnetoelastic Characterization and Domain Analysis of Magnetic Thin Films and Multilayers", Yüksek Lisans Tezi, Texas State University, 2006.
- [31] Çöktüren, E., "Ferromanyetik Filmlerde Oluşan Yüzey Manyetik Anizotropisinin Numerik Çözümlemesi", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [32] Şahin, T., "Elektrodepozisyon Tekniğiyle Üretilen Co ve CoFe Filmlerin, Yapısal ve Manyetodirenç Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [33] Karpuz, A., "Fe - Cu Alaşım Filmlerin Büyütülmesi, Yapısal ve Manyetik Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [34] Bülbül, F., "Darbeli-DC Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemi İle Kaplanan TiB₂ ve Me-DLC Filmlerin Mekanik, Yapısal ve Tribolojik Özelliklerinin Araştırılması", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

- [35] Yılmaz, T., “Saçtırma Tekniğiyle Hazırlanan Kobalt İnce Filmlerinin Manyetik Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [36] Doğan, İ., “Fabrication and Characterization of Aluminum Oxide and Silicon/Aluminum Oxide Films with Si Nanocrystals Formed by Magnetron Co-Sputtering Technique”, Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2008.
- [37] Koç, N., “Co_{0.7}Pt_{0.3} İnce Filminin Yüzey ve Manyetik Karakterizasyonu” Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [38] Alagöz, A. S., “Synthesizing Germanium and Silicon Nanocrystals Embedded in Silicon Dioxide by Magnetron Sputtering Deposition Technique” Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, 2007.
- [39] Demirel Ş., “İyon Demeti Destekli Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle (Ti,Mg)N İnce Filmlerin Üretilmesi, Yapısal ve Biyoaktivite Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [40] Karcı, A. B., “Süperiletken YBCO İnce Filmlerin, Yapısal, Elektriksel ve Manyetik Özelliklerinin Üretim Parametrelerine Bağımlılığının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [41] http://thinfilm-at.com/9281/28412.html?*session*id*key*==*session*id*val* (Erişim tarihi: Haziran 2011).
- [42] Çakıroğlu, M., “Structural And Magnetic Properties Of Co Doped ZnO Films”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [43] Wrona, J., Stobiecki, T., Czapkiewicz, M., Rak, R., Slezak, T., Korecki, J., Kim, C. G., 2004. R-VSM and MOKE Magnetometers for Nanostructures. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 272-276, 2294-2295.
- [44] Fu, Y., Miyao, T., Cao, J. W., Yang, Z., Matsumoto, M., Liu, X. X., Morisako, A., 2007. Effect of Co Underlayer on Soft Magnetic Properties and Microstructure of FeCo Thin Films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 308, 165-169.
- [45] Maesaka, A., Sugawara, N., Okabe, A., Itabashi, M., 1998. Influence of Microstructure on Thermal Stability of Spin-valve Multilayers. *Journal of Applied Physics* 83, 7628-7634.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet İbrahim Coşkun
Doğum Yeri : Gaziantep
Doğum Tarihi : 22/08/1978
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Okul, Mezuniyet Yılı, Şehir):

Lisans : Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik , 2002, Ankara
Yüksek Lisans : Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008, Adana

Yayın ve/veya Bildirileri:

Çakmaktepe, Ş., Yıldız, A., **Coskun, M. İ.**, Diken, S., “Sputtered NiFe/CoFe Nanofilms for Magnetic Writer-Head Applications”, 7. Türkiye Nanobilim ve Nanoteknoloji Konferansı, İstanbul, Haziran 2011.
Çakmaktepe, Ş., Diken, S., **Coskun, M. İ.**, Yıldız, A., “Production Of Multilayered Cu/Au/CoFe Magnetic Thin Film With Low Coercivity”, 7. Türkiye Nanobilim ve Nanoteknoloji Konferansı, İstanbul, Haziran 2011.