

Ülkü Özgümüş tarafından hazırlanan "Anti-Reflektif Kaplamalı Bir Camın Optik Modellenmesi" adlı araştırmanın Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

131266

İmza



Yüksek Lisans Tezi Danışmanı

Prof. Dr. Ender Aktulga

Bu çalışma Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Prof.Dr. Ender AKTULGA (M.S.Ü.)

İmza:



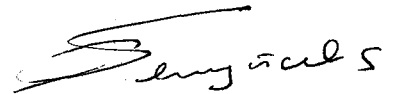
Jüri Üyesi :Prof.Dr. Bilgin AKDEMİR (M.S.Ü.)

İmza:



Jüri Üyesi :Prof.Dr. Fatma SENYÜCEL (M.S.Ü.)

İmza:



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

T.C.
MİMAR SİNAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANTİ-REFLEKTİF KAPLAMALI BİR CAMIN
OPTİK MODELLENMESİ

Ülkü ÖZGÜMÜŞ
DANIŞMAN: Prof. Dr. Ender AKTULGA

İSTANBUL-OCAK 2003

131266

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	1
ÖNSÖZ.....	2
I. ÖZET	3
SUMMARY	4
II. GİRİŞ.....	5
III. MODELLEME.....	6
III.1 SILİSYUM KATMANININ DEĞİŞEN KALINLIKLARI İÇİN GÖRÜNÜR BÖLGEDEKİ ORTALAMA YANSIMA DEĞERLERİ.	8
III.2 SILİSYUMDİOKSİT KATMANININ DEĞİŞEN KALINLIKLARI İÇİN GÖRÜNÜR BÖLGEDE ORTALAMA YANSIMA DEĞERLERİ.	13
IV. TARTIŞMA VE SONUÇ	17
V. EKLER	19
V 1. ANTI-REFLEKTİF KAPLAMALI CAMLARIN KULLANIM ALANLARI	19
V.2. ANTI-REFLEKTİF KAPLAMALARIN ÇEŞİTLERİ VE UYGULANIŞ METODLARI....	20
V.2.1 Tek Katlı Kaplamalar	20
V.2.2 Çok Katlı Kaplamalar.....	21
V.2.3 Diğer Anti-reflektif Kaplamalar	22
VI. KAYNAKLAR	25
VII. ÖZGEÇMİŞ	26

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, anti-reflektif kaplamalı bir camın optik modellenmesi yapılmıştır.

Modellemesi yapılan bu anti-reflektif (AR) kaplama, patenti (1992) Prof. Dr. Hülya Demiryont'a ait bir deneysel çalışma ürünüdür.

Çalışmaya başlamamda bana verdiği destek ve yardımlarından dolayı kıymetli Hocam Prof. Dr. Hülya Demiryont'a teşekkürlerimi sunarım.

Söz konusu Modelleme, ML2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Çok katmanlı kaplamaların optik niteliklerin öngörülmesi/tasarlanması amaçlı bu program, Prof. Dr. Ender Aktulga tarafından, Şişe Cam Araştırma Merkezi İnce Film Laboratuvarı için yazılmıştır.

Çalışmanın her aşamasında yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ender Aktulga' ya teşekkür ederim.

I. ÖZET

Bu çalışmada, Si ve SiO₂ kaplanarak anti-reflektif özellik kazandırılmış camın optik modellenmesi yapılmıştır. Söz konusu tasarım, patenti [1] Prof. Dr. Hülya Demiryont'a ait olan deneysel bir çalışmaya dayanmaktadır. Tasarlanan kaplamalı camın yansımalarını minimum yapan katman kalınlıkları ML2000 programı [2] kullanılarak, araştırılmıştır.

ML2000 yazılımı çok katmanlı kaplamalar için geliştirilmiş bir tasarım/öngörü programıdır. Bu yazılım, taşıyıcının ve üzerine kaplanacak malzemelerin optik indislerinin ve bu malzemelerle oluşturulacak katman kalınlıklarının girilmesi durumunda, kaplanan camın geçirgenlik oranının ve her iki yüzündeki yansıtma oranlarının hesaplanmasını sağlamaktadır.

Tasarımda kullanılan taşıyıcı cam olarak BK7 cam ve Si, SiO₂ malzemelerin optik parametreleri (dalga boyuna bağlı n ve k değerleri), Kidger Optics'in bir ürünü olan Film 2000 [3] yazılımının içerdiği Schott ve Palik kataloglarından alınmıştır. Bu iki malzeme ile oluşturulan iki katmanlı model için değişik katman kalınlıkları denenerek, bu kalınlıklara karşılık gelen R (kaplamalı yüzdeki yansıma) değerinin spektrumları (dalga boyuna bağlı değişimi) elde edilmiştir. Bu spektrumların görünür bölgedeki R_v ortalamaları [4, 5] hesaplanmıştır. Hesaplanan R_v değerleri tablolandırılmış ve bu tablolar yardımıyla da R_v değerlerinin kalınlığa bağlı değişimlerini gösteren eğriler oluşturulmuştur. Bu eğrilerin analiziyle minimum yansımaya sağlayan katman kalınlıkları elde edilmiştir.

Patente konu olan deneysel çalışmada elde edilen değerlerle modelleme çalışmasında elde edilen değerler birbirine çok yakındır. Bu nedenle her iki çalışmadaki analizlerin sonuçları da birbiriyle uyum içinde olmaktadır.

Bu çalışma, modellemenin deneyi ne ölçüde iyi yansıttığını açıkça göstermektedir. Kullanılan yazılımın güvenilirliği de sınanmış olmaktadır.

SUMMARY

In this study, the optic model of a glass was formed, which is coated with Si and SiO₂ materials, purposing to give an anti-reflective characteristic to. The design in question is based on an experimental study which Prof. Dr. Hülya Demiryont owns the patent [1] of. The layer thickness which minimize the reflection of the coated glass, was probed by using ML2000 software.[2]

ML2000 is a design/estimation software, developed for multi-layer coatings. When optic indexes of substrate and the materials it will be coated with and layer thickness to be formed with these materials are entered, this software calculates the transmittance ratio through the glass and the reflectance ratios at both surfaces of the glass.

Optic parameters (n and k values depending on the wavelength) of BK7 glass used as substrate and Si and SiO₂ materials, are extracted from the Schott and Palik catalogue include by Kidgers Optics Film 2000 software. For the two layers model formed with these two materials, different layer thickness were tried and the spectrums [4, 5] (change depending on the wavelength) of R (reflection at the coated surface) calculated to such thickness, were obtained. R averages of these spectrums were with these values, curves were drawn showing the changes of R_v values depending on the thickness. As a result of the analysis of these curves, layer thickness ensuring minimum reflection, was obtained.

The values obtained in the experimentel work related to the patent, and the values obtained during modeling are very close. Therefore, the results of the analysis of both studies comply with each other.

This study clearly shows how much modeling reflects the experiment. And the reliability of the software used is also tested.

II. GİRİŞ

Modelleme, deney sürecini hızlandıran, malzeme ve enerji tasarrufu sağlayan bir çalışmadır. Modelleme, gerçekleştirilmek istenen bir sistemin, günümüzde genellikle bilgisayar ortamında tasarlanması ve bu tasarıma ilişkin bazı nicel değerlerin öngörülmesi olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, söz konusu olan modelleme, bir cam taşıyıcı üzerinde değişik kalınlıklardaki katmanlar oluşturularak elde edilen bir kaplamalı camın optik niteliklerin belirlenmesine yöneliktir. Optik bir modelleme, bir kaplama donanımı yardımıyla cam üzerine kaplanacak olan malzemelerin ve taşıyıcı camın optik parametrelerinin (kıırma indisi $[n]$ ve söndürme katsayısının $[k]$) dalga boyuna bağlı değerlerinin bilinmesini gerektirir. Cam taşıyıcı üzerine bu malzemelerden değişik sayı, sıra ve kalınlıklarda katmanlar oluşturulduğunda, kaplanmış camın geçirgenliğinin ve yüzlerindeki yansımaların dalga boyuna bağlı olarak alacağı değerler, daha sonra da, bu değerler yardımıyla tasarımın optik niteliğini tanımlayan standart değerler hesaplanır. Hesaplanan ve hedeflenen optik niteliklerin uyumluluğu karşılaştırılır. Tasarım değiştirilerek söz konusu uyum yakalanmaya çalışılır. Bu aşamadan sonra deney aşaması başlar. Deneyin sonuçları ile tasarımın sonuçları arasında öngörülme-yen farklılıkların giderilmesi için deney parametreleri, yine modelin öngördüğü yönlerde değiştirilerek hedef niteliklere ulaşılır. [6]

Sunulan çalışmada, BK7 cam taşıyıcı üzerinde, silisyum ve silisyumdioksit malzemeden iki ince katman oluşturularak elde edilmiş bir anti-reflektif kaplamalı cam ele alınmaktadır. Deneysel çalışması Prof. Dr. Hülya Demiryont tarafından yapılan tasarım için modelleme yoluyla yapılan bu araştırmanın amacı, camın kaplanmış yüzündeki yansımanın minimum olmasını sağlayacak silisyum katmanı ile silisyumdioksit katmanının kalınlıklarının elde edilmesidir.

III. MODELLEME

Çalışmada yaralanılan ML2000 yazılımı çok katmanlı kaplamalar için geliştirilmiş bir optik tasarım/öngörü programıdır. Yazılımın, değişik cam ve kaplama malzemesinin optik parametrelerinin dalga boyuna bağlı değerlerini içeren bir kataloğu bulunmaktadır. Kullanıcı, kataloğa kendi deneysel bulgularını da ekleyebilmektedir. Bir kaplamalı cam tasarımı katalogta yer alan cam ve kaplama malzemelerinin kodlarının ve bu malzemelerle oluşturulacak katmanların kalınlıklarının, yazılımın formül sayfasındaki çizelgeye kaplama sırasına uygun sırada, girilerek gerçekleştirilmektedir. Yazılım, bu, geçirgenliğinin ve her iki yüzdeki yansımalarının dalga boyuna bağlı değerlerini hesaplamaktadır. Bu değerler deneysel çalışmada spektrofotometre yardımıyla ölçülerek belirlenmektedir. Modellemede hesaplanarak, deneyde ise ölçülerek elde edilen spektrofotometrik değerlerden de kaplamalı camın, A, C ve D65 standard ışık kaynakları için sağladığı geçirgenlik ve yansıtma renklerini (renk koordinatlarını), dalga boyuna bağlı geçirgenlik ve yansıtma oranlarını (T , R , R') görünür bölge ortalamalarını (T_v , R_v , R'_v) ve güneş enerjisi aralığındaki ortalamalarını (T_e , R_e , R'_e) hesaplanmaktadır. Bu çalışmada ele alınan büyüklük, kaplamalı camın niteliğini tanımlayan yukarıdaki büyüklüklerden biri olan kaplamalı yüzdeki yansıtmanın görünür bölge ortalaması (R_v) dir.

Tasarımda taşıyıcı cam olarak 1mm kalınlığında BK7 cam, camın üzerine oluşturulacak birinci katman olarak silisyum (Palik kataloğu) [3], bu katman üzerine oluşturulacak ikinci katman olarak da silisyumdioksit (Schott kataloğu) [3] kullanılmıştır.

Silisyumun kırma indisi görünür bölge aralığında 3,9 ile 4,5 ddeğerleri arasında değişmektedir. Bu malzemedan oluşturulan katmanın kalınlıkları için 1,0 ile 4,5 nm aralığında değerler seçilmiştir. Silisyumdioksitin kırma indisi ise yaklaşık olarak 1,45 değerindedir. Bu malzemedan oluşturulan katmanın kalınlıkları için ise 100-200 nm aralığında değerler seçilmiştir.

Silisyum katmanının 7 değişik kalınlık değeri için, 6 değişik silisyumdioksit katman kalınlığı denenmiştir. Sonuç olarak 42 model oluşturulmuştur. Bu modellere karşılık gelen ortalama yansıma değeri (R_v) yardımıyla Tablo 1 ve Tablo 3 oluşturulmuştur. Tablo 1'de silisyum katman kalınlıkları satır başlarına, silisyumdioksit katman kalınlıkları ise sütun başlarına yerleştirilirken Tablo 3'de tersi yapılmış, silisyumdioksit katman kalınlıkları satır başlarına, silisyum katman kalınlıkları sütun başlarına yerleştirilmiştir. Tablo 1 yardımıyla Şekil 1'deki eğriler, Tablo 3 yardımıyla da Şekil 3'deki eğriler çizilmiştir.



III.1 Silisyum katmanının değişen kalınlıkları için görünür bölgedeki ortalama yansıma değerleri.

Şekil 1'deki eğriler, silisyum katman kalınlıklarının görünür bölgede ortalamalarının (R_v), silisyum katman kalınlığının (d_{Si}) fonksiyonu olarak değişimini göstermektedir. Her eğri değişik bir silisyumdioksit katman kalınlığı için çizilmiştir. Eğrilerin analizi, aranan silisyumdioksit katman kalınlığının 110 nm-130 nm değerleri arasında yer aldığını, bu değerin 120 nm'ye çok yakın olduğunu göstermektedir. Aranan silisyum katman kalınlığının ise 3 nm olduğu daha büyük bir kesinlikle anlaşılmaktadır.

Ancak bu sonuca matematiksel bir kesinlik kazandırmak amacıyla 120 nm parametrelili eğrinin ikinci derece polinom yardımıyla regresyonu yapılarak,

$$R_v = 0.3362d_{Si}^2 - 2.0410d_{Si} + 6.9250 \quad (1)$$

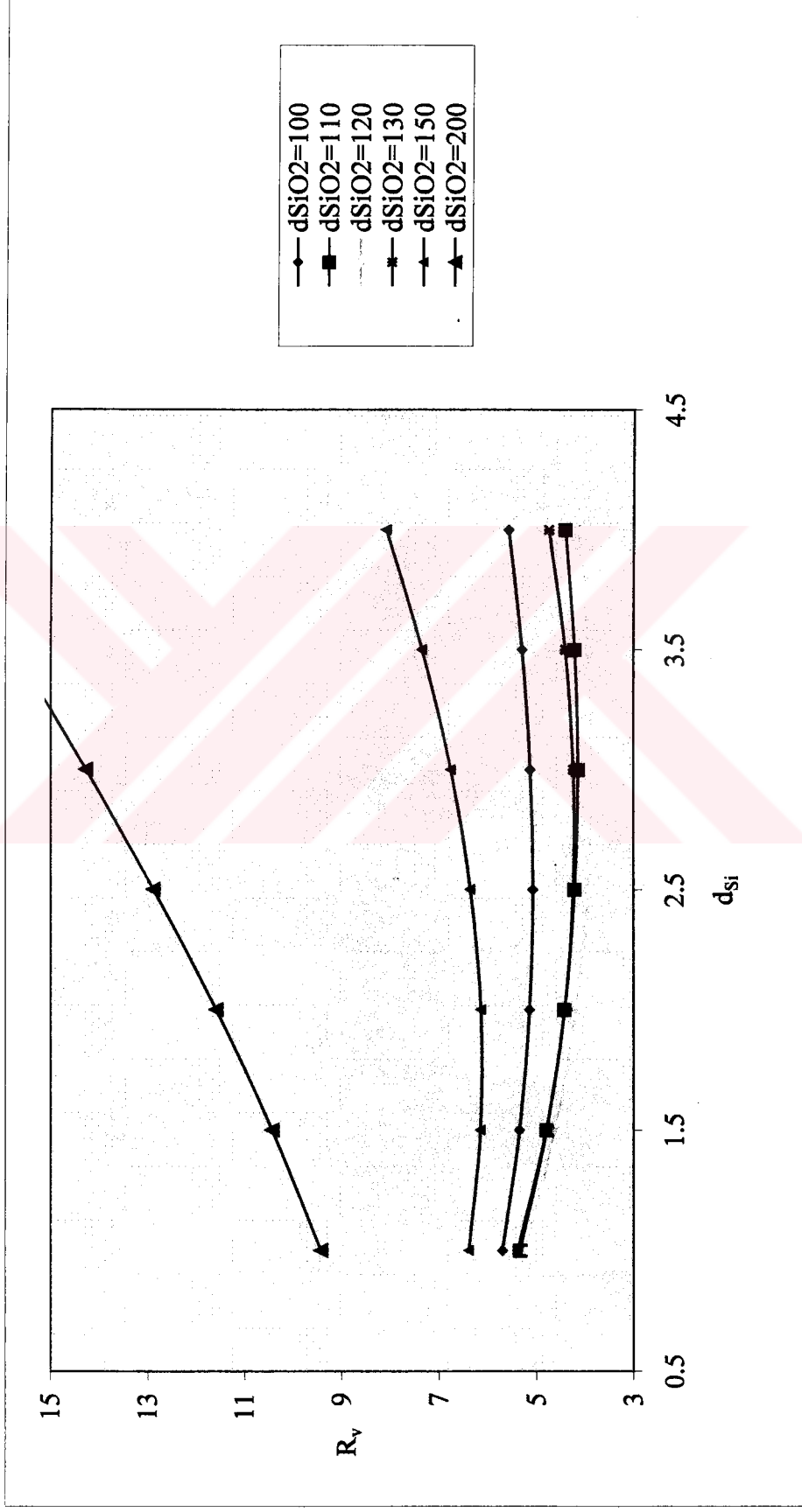
bağıntısı elde edilmiştir. Bu bağıntıdan d_{Si} değerlerine karşılık olarak hesaplanan R_v değerleri ile Tablo 2 oluşturulmuştur. Şekil 2a, Tablo1'den yararlanılarak çizilen $d_{SiO_2}=120$ eğriyle, Tablo 2a'dan yararlanılarak çizilen regresyon eğrisini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. İki eğri uyum içindedir.

Şekil 2b'de, $d_{Si}= 3$ nm kalınlığının yakın çevresi için hesaplanmış R_v değerlerini içeren Tablo 2b'den yararlanılarak çizilmiştir. Bu eğrinin analizi, aranan silisyum katman kalınlığının 3 nm olduğunu daha büyük bir kesinlikle göstermektedir.

Bu kalınlıklara, görünür bölge yansıma oranı ortalama yüzdesinin 3,84 değeri karşılık gelmektedir.

Tablo 1: Değişen SiO₂ kalınlıkları için, Si kalınlıklarına bağlı görüntür bölge yansıma ortalamasının (R_v) değişimleri

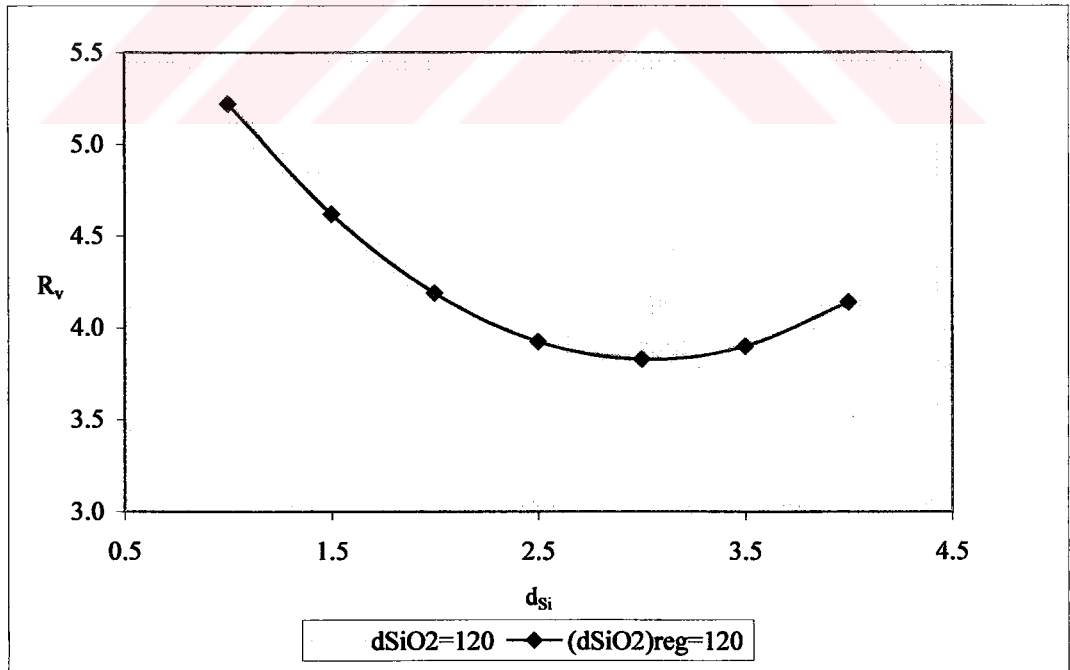
d _{si}	R _v (%) d _{siO₂} =100	R _v (%) d _{siO₂} =110	R _v (%) d _{siO₂} =120	R _v (%) d _{siO₂} =130	R _v (%) d _{siO₂} =150	R _v (%) d _{siO₂} =200
1,0	5,70	5,33	5,23	5,39	6,39	9,43
1,5	5,35	4,79	4,61	4,80	6,15	10,44
2,0	5,14	4,42	4,18	4,42	6,14	11,59
2,5	5,07	4,21	3,92	4,24	6,36	12,88
3,0	5,13	4,14	3,84	4,24	6,76	14,27
3,5	5,30	4,21	3,91	4,41	7,35	15,75
4,0	5,58	4,41	4,13	4,75	8,09	17,28



Şekil 1: Değişen SiO_2 kalınlıkları için, Si kalınlıklarına bağlı olarak görüntür bölge yansıma ortalamasının değişimleri

Tablo 2a: 1-4 nm'lik d_{Si} aralığında, 0,5 nm'lik artışlar için, $d_{SiO_2}=120$ nm parametrelili $R_v=R_v(d_{Si})$ regresyonu

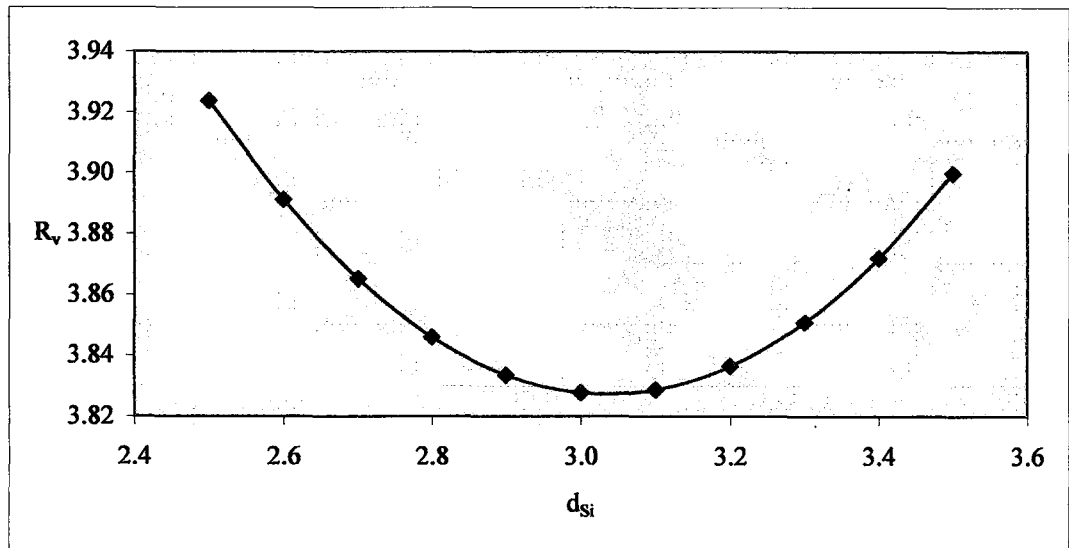
d_{Si}	R_v (%) $d_{SiO_2}=120$
1,0	5,22
1,5	4,62
2,0	4,19
2,5	3,92
3,0	3,83
3,5	3,90
4,0	4,14



Şekil 2a: $d_{SiO_2}=120$ için $R_v=R_v(d_{Si})$ eğrisi ile bu eğrinin regresyon eğrisi

Tablo 2b: 2,5-3,5 nm'lik d_{Si} aralığında, 0,1 nm'lik artışlar için, $d_{SiO_2}=120$ nm parametrelili $R_v=R_v(d_{Si})$ regresyonunu

d_{Si}	R_v (%) $d_{SiO_2}=120$
2,5	3,924
2,6	3,891
2,7	3,865
2,8	3,846
2,9	3,834
3,0	3,828
3,1	3,924
3,2	3,891
3,3	3,865
3,4	3,846
3,5	3,834



Şekil 2b: 2,5-3,5 nm aralığında, 0,1 nm artışlarla çizilen regresyon eğrisi

III.2 Silisyumdioksit katmanının değişen kalınlıkları için görünür bölgede ortalama yansıma değerleri.

III.1'de yapılan analizin benzeri Şekil 3'teki eğriler yardımıyla de yapılmıştır. Şekil 3'teki eğriler, silisyumdioksit katman kalınlıklarının görünür bölge ortalamalarının (R_v), silisyumdioksit katman kalınlığının (d_{SiO_2}) fonksiyonu olarak değişimini göstermektedir. Her eğri değişik bir silisyum katman kalınlığı için çizilmiştir. Eğrilerin analizi, aranan silisyum katman kalınlığının 2,5 nm-3,5 nm değerleri arasında yer aldığını ve bu değerin 3 nm'ye yakın bir değer olması gerektiğini göstermektedir. Aranan silisyumdioksit katman kalınlığının ise 120 nm olduğu daha büyük bir kesinlikle anlaşılmaktadır.

III.1'de yapıldığı gibi, sonuca matematiksel bir kesinlik kazandırmak amacıyla, 3 nm parametrelili eğrinin, d_{SiO_2} kalınlığının 110-130 nm aralığında, ikinci derece polinom yardımıyla regresyonu yapılarak,

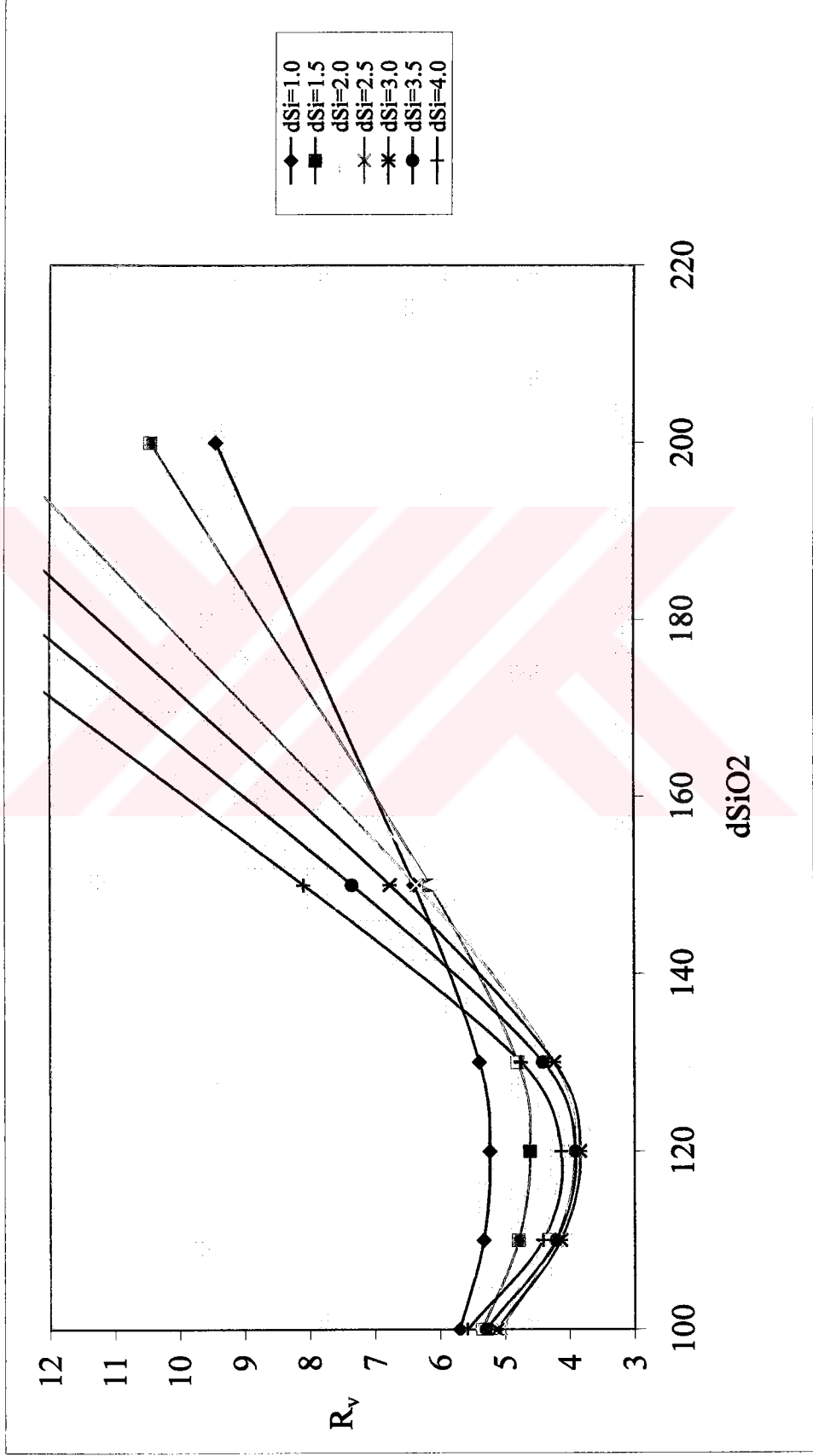
$$R_v = 0.003475d_{SiO_2}^2 - 0.82895d_{SiO_2} + 53.2755 \quad (2)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Bu bağıntıdan d_{SiO_2} değerlerine karşılık olarak hesaplanan R_v değerleriyle Tablo4 oluşturulmuştur. Tablo 3'deki $d_{Si}=3$ değerleriyle, Tablo 4a'daki R_v değerleri arasındaki uyum tamdır.

$d_{SiO_2}=120$ nm kalınlığının yakın çevresi için hesaplanmış R_v değerlerini içeren Tablo 4b'nin analizi, aranan silisyumdioksit katman kalınlığının 119 nm olduğunu göstermektedir. Ayrıca R_v ortalamasının yüzdesi yine 3,84 olarak bulunmaktadır. Silisyum için 3 nm, silisyumdioksit için 119 nm olarak bulunan katman kalınlıkları, III.1'de 3 nm ve 120 nm olarak bulunan katman kalınlıkları ile uyum içindedir.

Tablo 3: Değişen Si kalınlıkları için, SiO₂ kalınlıklarına bağlı görünür bölge yansıma ortalamasının (R_v) değişimleri

d _{SiO2}	R _v (%) d _{Si} =1,0	R _v (%) d _{Si} =1,5	R _v (%) d _{Si} =2,0	R _v (%) d _{Si} =2,5	R _v (%) d _{Si} =3,0	R _v (%) d _{Si} =3,5	R _v (%) d _{Si} =4,0
100	5,70	5,35	5,14	5,07	5,13	5,30	5,58
110	5,33	4,79	4,42	4,21	4,14	4,21	4,41
120	5,23	4,61	4,18	3,92	3,84	3,91	4,13
130	5,39	4,80	4,42	4,24	4,24	4,41	4,75
150	6,39	6,15	6,14	6,36	6,76	7,35	8,09
200	9,43	10,44	11,59	12,88	14,27	15,75	17,28



Şekil 3: Değişen Si kalınlıkları için, SiO_2 kalınlıklarına bağlı görünür bölge yansıma ortalamasının değişimleri

Tablo 4a: 100-130 nm'lik d_{SiO_2} aralığında, 10 nm'lik artışlar için, $d_{Si}=3,0$ nm parametrelili $R_v=R_v(d_{Si})$ regresyonu

d_{SiO_2}	R_v (%) $d_{Si}=3$
100	5,13
110	4,14
120	3,84
130	4,24

Tablo 4b: 110-130 nm'lik d_{SiO_2} aralığında, 2 nm'lik artışlar için, $d_{Si}=3,0$ nm parametrelili $R_v=R_v(d_{Si})$ regresyonu

d_{SiO_2}	R_v (%) $d_{Si}=3$
110	4,139
112	4,024
114	3,936
116	3,877
118	3,845
119	3,840
120	3,842
122	3,866
124	3,917
126	3,997
128	4,104
130	4,240

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Laboratuvarda, cam taşıyıcı üzerine değişik malzemeler, farklı kalınlıklarda değişik sıra ile kaplanarak, elde edilen kaplamalı camın, geçirgenlik, yansıtma, renk ve diğer standart nitelikleri belirlenmektedir.

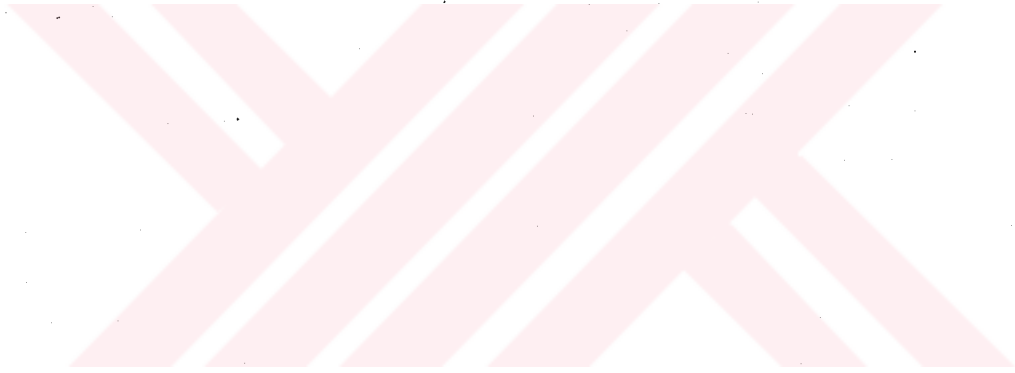
Modelleme çalışmasında ise, bu optik nitelikler bilgisayar ortamında, uygun bir yazılım programıyla deney yapılmadan öngörülmektedir.

Bu tür bir modellemeyi örneklemek amacıyla sonuçları rapor edilmiş bir AR kaplama çalışması ele alındı. Bilgisayar ortamında ML2000 adlı bilgisayar programı yardımıyla 1mm kalınlığındaki BK7 cam üzerine 1-4,5 nm kalınlığında silisyum kaplanarak bunun üzerine de 100-200 nm kalınlığında silisyumdioksit kaplanarak elde edilecek kaplamalı camın kaplamalı yüzündeki dalga boyuna bağlı yansıtma oranları (R) hesaplandı. Aynı yazılım yardımıyla ISO 9050 ve EN 410 standartlarından alınan ağırlık katsayıları kullanılarak, R değerlerinin görünür bölge ortalamaları (R_v) hesaplandı. Bu değerler Si ve SiO₂ katman kalınlıklarına karşılık olarak tablolandırıldı. Bu değerlerin % minimumu olarak % 3,84 değeri elde edildi. R_v nin bu değeri Si katmanı 3 nm, SiO₂ katmanı da 120 nm alınması durumunda elde edildiği belirlendi. Silisyum katman kalınlıkları için 0,5 nm'lik, silisyumdioksit katman kalınlıkları için de 10 nm' lik aralıklar kullanıldı. Bu nedenle yukarıda daha duyarlı olarak nasıl elde edileceğini örneklemek üzere tablo değerlerinin regresyonu yapılarak, ara değerler de incelendi. Bu incelemenin sonuca herhangi bir etkisi olmadığı görüldü.

Sonuçların modellemeye kaynak oluşturan deneysel çalışmanın sonuçları [1] ile tam bir uyum içinde olması, modellemenin deneysel çalışmaya temsil etme gücünün çok yüksek olduğunu, bu bakımdan deneysel çalışmaya çok önemli katkı yapabileceğini göstermektedir. Söz konusu uyum, ayrıca kullanılan yazılımın güvenilirliğinin sınanmasını da sağlamış olmaktadır.

Deneysel çalışmanın tükettiği zaman, iş gücü ve malzeme, modelleme yardımıyla büyük ölçüde tasarruf edilebilmektedir. Deneyin yerini, bilgisayar ortamında, yapılan denemeler olmaktadır. Bu çalışmada yapılan deneme sayısı 42 dir. Modelleme bu

sayıda deneyin yapılmasını gereksiz kılmaktadır. Deney modelleme sonuçlandırıldıktan sonra başlatılmaktadır. Deneyin sonuçları, modelin öngördüğü sonuçları tam olarak karşılayamaz durumda, iyileştirici deneye gerek duyulabilir. Bu durumda da yine, deney parametrelerinin hangi yüzde değiştirilmesi gerektiği modelleme sonuçlarından elde edilir.



V. EKLER

V 1. Anti-Reflektif Kaplamalı Camların Kullanım Alanları

Normal olarak, bir cam/hava arabirimde gelen ışığın yaklaşık %4 oranı yansıtılmaktadır. Kaplanmamış bir düz camın toplam yansımaları %8 dir. Bu her iki yüzeyden %4 yansımalarının olduğu anlamına gelmektedir. Kaplaması olmayan camların gözle görünen ışığın yaklaşık %8 oranında bir yansımalarının olmasına karşılık, anti-reflektif kaplaması olan camların yansımaları %5 oranında altındadır. Buna rağmen AR kaplaması olan camlar gözle görünen ışığa karşı geçirgenliğini sürdürmüştür. Anti-reflektif kaplaması olan yüzeydeki yansıma %4 ten daha azdır. Yalnızca diğer cam yüzeydeki hava/cam arabirimindeki yansıma %4 kalmaktadır. Bir başka tercih edilen kullanımda ise her iki tarafada anti-reflektif kaplama uygulanmakta ve birim için yansıma her iki yüz içinde %4 ten daha aşağılara çekilmektedir.

Anti-reflektif özellikli kaplamalar üzerindeki çalışmalar oldukça eskidir. Tüm parlayan yüzeyler için anti-reflektif kaplama kullanılabilir. Bu kaplamalarda uygulama alanları da oldukça geniştir. Cam üzerine yapılan kaplamalarda örnek olarak, gözlük camları, objektifler, TV ekranları, vitrinler, resim ve çerçeve camları, solar hücreler ve katot ışın tüpleri, plazma, likit kristal ve elektrolüminesan göstergeler dahil olmak üzere daha bir çok uygulamalar söylenebilir. Mimari ve otomotiv ürünler için kullanılan camlarda gözü alan yansımaları en aza indirmek için anti-reflektif kaplama yapılmaktadır. Bir motorlu aracın ön camının iç tarafında uygun bir AR kaplama, gösterge panelinde daha açık renkli malzemelerin kullanılmasına olanak sağlamakla birlikte iç yansımaları yok eder. Ön camın dış tarafına yapılan uygun bir AR kaplama ise aktarılan ışık yoğunluğunu artırır ve asgari saydamlık gereksinimlerini karşılamaya yardımcı olur. Saydam tabakalar daha düşük yansıma ile birlikte daha yüksek geçirgenlik özelliği göstermektedir. Ancak, yüksek geçirgenliğin önemli olmadığı bir çok durumda vardır. Bunların tipik örneği katot ışın tüpleri hafif ışık emici göstergelerdir. [7]

V.2. Anti-Reflektif Kaplamaların Çeşitleri Ve Uygulanış Metodları

V.2.1 Tek Katlı Kaplamalar

Anti-reflektif kaplamaların en yüksek performanslara sahip olanları oda sıcaklığında, vakumlu olmayan teknikler ile kaplanan tek katlı tabakalardır. Sol-gel, Teflon, NSP (cam) kaplamalarının hepsi vakumsuzluk tekniği ile yapılmış tek katlılardır.

Sol-gel işlemleri ilk maddenin (sol'un) bir eriyiğinin hazırlanmasını ve bu eriyiğin jelleşme ile (gel) katı ürüne dönüşmesini içerir. Metal alkoksitler hidroliz yolu ile oksitlenebilirler. En çok tercih edilen tek katlı Anti-reflektif kaplama etanol içindeki silisyum süspansiyonlarından hazırlanan gözenekli silisyum çeyrek dalga kaplamalardır.

Süspansiyon yüksek saflıktaki tetraetilsilikatın etanolde baz-katalistli hidrolizinden hazırlanır. Alt tabakaya süspansiyonun uygulanmasından sonra ve etanolün bunun sonucunda uçmasından sonra kalan kaplama yaklaşık 20 nm çapındaki rastgele tabakalardan oluşur. Bu yaklaşık olarak %50 yoğunlukta olan kaplamaların 1.22 ye yakın kırılma indisi bulunmaktadır. Daldırma ve döndürme dahil olmak üzere eriyikler alt tabakalara çeşitli ıslak kaplama yöntemleri ile uygulanabilir. Kaplamaların kalınlıkları eriyiğin yoğunluğu ve çekme yada döndürme hızı ile kontrol edilir. Sol-gel yöntemi Ar kaplamaları hazırlamak için tercih edilen bir yöntemdir ve ticari olarak yüksek enerji lazerlerinden katot ışınli tüplere kadar olan uygulamalarda kullanılır. Ekran ve tümleşik devrelere uygulanabilir.

Çok ince ve kalın kaplama filmlerini saydam filmler yapmak mümkündür. Sol-gel kaplamaların öncelikli dezavantajı, zayıf mekanik dengeleridir. Mekanik aşınma olasılıklarının düşük olduğu, yüksek güç gerektirmeyen uygulamalarda, bu bir problem yaratmayabilir.

Elektron ışını ile yüklenmiş olan CeF_3 bileşimide tek katlı yeni bir AR kaplama malzemesi olarak önerilmiştir. CeF_3 'in belirlenen dalga boylarında yaklaşık olarak yüzde yüz optik aktarımı ve düşük yansıma indisli olan bir malzeme olduğu gösterilmiştir. 250^0 C sıcaklıkta ısıtılmış tabakaların üzerine yerleştirilmiş filmler

dayanıklı ve sert kaplamalar oluşturmuştur. Camların üzerine konulmuş olan SiO_2 tampon tabakaları filmlerin yapışkanlık oranını arttırmıştır. [7]

V.2.2 Çok Katlı Kaplamalar

Çok katlı AR kaplamalar en çok elektronik-ışın yöntemi ile hazırlanmaktadır. Bu yöntem AR kaplamalarda en yüksek performansı sağlamasalar da ticari kaynaklardan en rahat bulunabilen kaplamalardır ve sol-gel kaplamalardan daha fazla mekanik stabilizasyona sahiptirler. Elektronik ışın ile depolanmış olan AR kaplamalar genel olarak yüksek ve alçak indisli malzemelerin alternatifli olarak yerleştirildiği iki yada dört kattan oluşurlar. İki katlı kaplama yansıtma dalga boyu veya geliş açısı farklılaştıkça hızlı bir artış gösterir. Dört katlı kaplamaların daha büyük bant genişliği bulunmaktadır ve tabaka kalınlığı nedeniyle daha büyük üretim toleransına sahiptirler. HR kaplamaların performansları teorik olarak, kaplamaların en üst birkaç tabakasındaki elektrik alanlarının büyüklükleri ile orantılıdır. En yüksek performansların, düşük alt tabaka sıcaklıklarında ve oksitlenmeyi arttıran koşullarda yapılan kaplamalardan elde edildiği saptanmıştır. Katot ışın tüpleri (CRT) için absorbe edici bir tabaka kullanılan yeni bir AR sistemi geliştirilmiştir. [8]

İnce film oluşumu için fiziksel işlem açısından, tabaka kalınlığının hassas kontrolü ve yüksek ısı derecesinde kaplama nedeni ile optik özellikli, vakumda kaplama teknikleri saydam çok tabakalı AR kaplamaların kaplanması için kullanılan en yaygın teknikler haline gelmiştir. SiO_2 çeşitli uygulamalarda optik kaplama tabakalarının bir elemanı olarak düşük kırılma indisli malzemelerin en iyi bilinenidir. Silisyumdioksit gibi yüksek dereceli izolasyon malzemeleri sadece RF püskürtmesi ile kaplanabilmiştir. Çünkü DC reaktif püskürtme işlemlerinde çeşitli ark problemleri ortaya çıkmıştır. RF püskürtme işlemi küçük ölçekli uygulamalarda bir engel teşkil etmektedir. Yakın zamanda ark problemini ortadan kaldırmak için çeşitli alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar değiştirilmiş DC püskürtme yerine, silindirik döner magnetron katotlar ve ikiz katotlu AC püskürtme kullanılmaktadır. Ayrıca cam üzerindeki AR kaplamalarının yağmur veya UV ışınlarına karşı dayanıklı olmalarında çok önemlidir.

CRT pano camlarda AR kaplama için birinci tabaka olarak ışık absorbe edici malzeme ve ikinci tabaka olarak saydam tabaka kullanılarak yeni bir tabaka sistemi geliştirilmiştir. Teorik analizler çift tabakalı AR kaplamalarının büyük potansiyelini ortaya çıkarmıştır. Hesaplamalar tabaka kalınlıklarının çeşitli kombinasyonları ve saydam tabakanın kırılma indisleri için en kusursuz antirefle yüzeyi elde etmek için ideal optik sabitleri göstermişlerdir. [8]

V.2.3 Diğer Anti-reflektif Kaplamalar

Sol-gel kaplamalar ve elektronik ışınla kaplanan AR kaplamaların dışında birkaç tane daha yüksek performansa sahip Anti-reflektif kaplamalar bulunmaktadır. Bunlar, nötr-eriyik yöntemi borosilikat camın üzerinde camı neredeyse nötr su içeren sıvıda damıtarak, yüksek veya düşük kırılma indisi olan AR yüzey oluşturmayı içermektedir. Bu kaplamalar eritilmiş silikayla (SiO_2) birlikte kaplanmış dielektrik malzemelerin tercihli olarak seçilmesiyle uygulanabilirler. Gözenekli dielektrik kaplamalar aynı anda iki dielektrik malzemenin A ve B nin $n_A > n_B$ ile sonrada derecelendirilmiş bir kırılma indisi sağlamak için malzeme B nin eritilmesi ve birlikte kaplanmasıyla oluşur. Olağan e-Beam (elektronik ışın) ile depolanmış anti-reflektif kaplamaların iki katı daha yüksek performansları rapor edilmiştir. Bu kaplamalar, eritilmiş silika üzerinde mekanik açıdan sol-gel anti-reflektif kaplamalardan daha dengeli olma avantajına sahiptirler.

Patente yer alan anti-reflektif kaplama deneysel olarak değişik tekniklerle yapılabilmektedir. Patente yazıldığı gibi kaplama malzemeleri (silisyum ve silisyumdioksit) cama yada diğer alt tabaka yüzeylerine reaktif püskürtme yada elektron ışınlama yöntemleri ile konulabilir. Genel olarak, silisyum filminin çabuk şekilde yerleştirilebilmesi ve çok ince olması nedeniyle ekonomik olarak oldukça avantajlı bir kaplamadır. Bir cam yüzeyin, üzerine ultra ince silisyum film konulduktan sonra onun üzerinede silisyumdioksit film konulmaktadır.

Bir başka alternatif yöntem ise istenilenden daha kalın bir tabaka silisyum konulur ve sonra ısıtılır. Teorik bağlantısı bilinmemekle birlikte silisyumun bir kısmının oksitlendiğine inanılmaktadır. Isıtmadan sonra filmin optik nitelikleri, daha ince bir silisyum kaplamasına sahip olduğuna ilişkin niteliktedir. Isıtma işlemi kaplamanın

cam alt tabakaya olan yapışkanlığını arttırmaktadır. Aynı zamanda film tabakalarının mekanik ve büyük olasılıkla kimyasal dayanıklılığında arttırmaktadır. Bu yöntemin, silisyum ile cam alt tabaka arasında, ayrıntılı ve yaygın bir arabirim oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu kaplama tekniğine göre, silisyum film tabakası ile silisyumdioksit filmi, cam katın üzerine yerleştirilmektedir. Bu şekildeki cam, yükseltilmiş bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Tipik olarak enaz 1000°F'tan performansının yüksek düzeyde kalması için camın bükülme sıcaklığının üzerinde, örneğin 1040°F ısıya yükseltilmektedir. Sistemin optik niteliklerinin değişmesine yetecek kadar bu sıcaklıkta tavlandıktan sonra, tercihen yaklaşık bir saat kadar, cam yavaş yavaş oda sıcaklığına kadar soğutulur. Daha sonra da optik nitelikleri ölçülür.

Bu anlatılanlar deneysel metodlardır. Tüm bu deneysel metodlar “İnce film kaplama metodları” [9] başlığı altında toplanmaktadır. İnce filmler kaplanacak taşıyıcının cinsine, kaplama malzemesine, çıkacak ürünün özelliklerine bağlı olarak çeşitli metodlarla kaplanabilir. Bu kaplama metodlarını kaplama tekniğinin dayandığı farklı prensipler açısından sınıflandırabiliriz:

1-PVD teknikler (Physical Vapour Deposition) olarak bilinen vakumda kaplama teknikleri,

2-CVD olarak bilinen (Chemical Vapour Deposition) kimyasal reaksiyonlar sonucu başlangıç kaplama malzemesinin kimyasal formülünü değiştirerek, kaplamanın yapıldığı tekniklerdir.

3-İslak Kaplama Teknolojileri (Sol-gel kaplama tekniği ve Silk screen baskı tekniği).

PVD teknikleri olarak, buharlaştırma teknikleri olan termal ve e-beam kaplama teknikleri ile kaplama malzemesi ısıtılarak buhar fazına geçirilir ve sonra taşıyıcı üzerine kondanse olup katı fazda bir film oluşturulur. Diğer bir PVD tekniği ise sputtering kaplama tekniğidir. Bu teknikte target adı verilen katod malzemesi sputter ettirici Ar gazı ile bombardıman ettirilir. Reaktif gaz kullanıldığında target malzemesinin oksit veya nitridi yada reaktif gaz kullanılmadığında target malzemesinin kendisi taşıyıcı üzerinde bir film oluşturur.

CVD tekniklerinde ise, bir reaktörde ısıtılan veya ışık ile reaksiyona uğratılan yada karıştığında reaksiyon vererek kimyasal formülünü değiştiren malzemeler yeni bir kimyasal formül ile taşıyıcı üzerinde katı fazda bir film oluşturur.

Islak teknolojiler olarak sol-gel ve baskı teknolojilerini söyleyebiliriz

Tüm bu teknolojiler gerek araştırma için ve gereksede üretim için kullanılmaktadır. Birbirine üstünlükleri ancak kullanım amacına göre değişmektedir. Örneğin optik kalitesi yüksek, çok iyi kalınlık kontrolünü gerektiren ve çok büyük kaplama alanları için sputtering tekniği uygun iken, çok delikli ve dolayısıyla kırılma indisi çok küçük olan bir filmin oluşturulmasında sol-gel tekniği çok daha uygundur. Çok kalın filmlerin kaplanmasında ise baskı tekniğinin kullanılması en iyi çözümdür. [9]

Sonuç olarak tüm bu deneysel metodlarda dikkat edilecek hususlar şunlardır:

Yüksek performanslı uygulamalar için optik kaplamaların dizaynı ve imal edilmesi dikkat isteyen bir yöntemdir. Dikkate alınması gerekenler arasında alt tabaka malzemesinin seçilmesi, kaplama dizaynı ile kaplama yöntemi olduğu gibi, depolamadan sonraki işlemleri de düşünmek gerekmektedir. Performansının yüksek düzeyde kalması için, kirlenmeye yada kullanım sırasında hasarlara ve mekanik zarar vermemeye, dikkat edilmelidir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] "Transparent Anti-Reflecting Coating", Hülya Demiryont U.S. Patent No: 5106671, Date of Patent: April, 21, 1992
- [2] "ML2000, Çok Katmanlı Kaplamalar İçin Tasarım Öngörü Programı", Ender Aktulga, Şişe Cam Araştırma Merkezi İnce Film Laboratuvarı için hazırlanmış bilgisayar programı.
- [3] "Film 2000, ver. 3.1", Kidger Optics Ltd, England
- [4] "ISO 9050, Glass in building", International Standard,1990
- [5] "EN 410, Glass in building", European Standard, 1998
- [6] "İnce Filmlerin Optik karakterizasyonunda Sayısal Yöntemler", Ender Aktulga, MSÜ Araştırma Fonu Yönetimine sunulacak Araştırma Projesi Sonuç Rapor Taslağı, 2002
- [7] "Thin Films For Optical Systems", M.R. Kozlowski, J.M Thomas, J.H. Campell and F. Raine, SPIE Proc. 1782, 105-121, 1993
- [8] "Coatings on Glass", Takuji Oyama, Hisashi Ohsaki, Yuko Tachibana, Japonya, 2000
- [9] "İnce Film Kaplama Teknikleri", Hülya Demiryont 13. Cam Problemleri Sempozyumu, Sayfa 145-148, Şişecam Araştırma Merkezi, 1999

VII. ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı: Ülkü Özgümüş

Doğum Yeri: İstanbul

Doğum Tarihi: 04/07/1966

Uyruğu: TC

Adres: Gül 10-01 Daire 46 Bahçeşehir İstanbul

İlkokul: Özel Şişli Koleji, 1978

Ortaokul ve Lise: İstanbul Kız Lisesi, 1984

Üniversite: Yıldız Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 1989