

BAŞKA PENCEREDEN BAKMAK Halpfa Filtresi Tasarımı, Üretimi ve Astronomi Fotoğrafçılığında Kullanılması

Gökhan DURAN¹, Filiz KUMDAKCI², Engin SÖZEN³

Özet

Astronomik gözlemlerde ve ölçümlerde çoklukla herhangi bir atomun spektrel emisyon(ışıma), veya soğurma(yutma) çizgisine karşılık gelen belli bir dalga boyundaki ışığın kontinyumdan(sürekli yapıdan) ayırmak gerekir.

Biz de okulumuzda bulunan Schmidt-Cassegrain 8'' LX200 model teleskop ile astronomik gözlemler yapmak için bir Halpfa filtresi yapmak istedik.

Filtremizi hidrojenin Balmer serisinin α ışıma çizgisine karşılık gelen 6563 Å dalga boyunda, Zemax-EE tasarım programı kullanarak tasarladık. Tasarımda Fabry-Perot dielektrik filtre yöntemini kullandık. Fabry-Perot filtreleri kısaca iki yüksek yansıtıcı tabaka arasında kalan bir aralık olarak tanımlanabilir. Bizim filtremizde yüksek yansıtıcı katman dokuz dielektrik katçık bir araya getirilerek elde edilmiştir. Katçıklar çeyrek dalga boyunda yüksek ve düşük indisli materyallerle yapılmıştır. Kullanılan yüksek kırma indisli materyal olarak TiO_2 (titanyumdioksit) ve düşük kırma indisli materyal olarak SiO_2 (silisyumdioksit) alınmıştır. Taşıyıcı olarak ise RG10 cut-off cam kullanılmıştır.

Tarsım, Denton Integrty 44 Yüksek vakumlu Optik Kaplama Cihazı ile uygulanmış ve kontrol ölçümleri ise okulumuzda mevcut SHIMADZU marka UV-2101/3101 PC model spektrofotometre ile yapılmıştır.

Abstract

We wanted to make a H-alpha filter in order to do astronomical observations with the Schmidt-Cassegrain 8 inches LX-200 model telescope located in our school. We designed our filter by Zemax-EE design software at 6563 Angstrom wavelenght which equals to Balmer series of Hydrogen's α radiation line. In design Fabry-Perot dielectric filter system is used. Fabry-Perot filters can be identified as an interval that is between two high-reflective layers. In our filter, high-reflective laminars are obtained by combining nine dielectric layers. Layers are made of high and low refracted indexed materials at quarter wavelenght. As the high refracted indexed material, TiO_2 (titaniumdioxide) and as the low refracted indexed material SiO_2 (silisyumdioksit) are used. RG10 cut-off glass is used as the conveyor. Design is applied with Denton Integrity 44 High-Vacuumed Optical Coating System and control measurements are done with the SHIMADZU UV_2101/3101 PC spectrophotometer which is available in our school.

1. Giriş

Günümüzde astronomik gözlemlerde özel görüntüler almak için çeşitli filtreler kullanılmaktadır. Bu filtrelerden birisi de Halpfa filtresidir. Bu filtre sayesinde derin uzay, nova ve süper nova gözlemleri yapılabilir. Halpfa filtresi yalnızca belirli bir bant aralığı içerisinde geçirgenlik göstermektedir. 6563 angstrom dalga boyunda hidrojen çizgisini geçirmek için tasarlanmış bu filtre sayesinde diğer dalga boylarındaki ışınının geçmesi engellenmektedir. Bu sayede yıldızlardaki hidrojen faaliyetleri rahatlıkla gözlenebilmektedir. Türkiye'de herhangi bir firma tarafından üretimi olmayan bu filtre, kullanmak isteyen kişi ve

¹ Deniz Lisesi Komutanlığı Heybeliada/İSTANBUL, Tel: 02163510072, e-posta: gkhan_duran@yahoo.com,

² Deniz Lisesi Komutanlığı Heybeliada/İSTANBUL, Tel: 02163510075 (dahili1130),
e-posta: gokfmk@yahoo.com,

³ Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Çengelköy/İSTANBUL, Tel: 0 216 308 05 11/224,
e-posta: sozenm@boun.edu.tr

kurumlarca yurtdışından temin edilmektedir. Meade ve Ziess firmaları bu filtrenin başlıca üreticilerindendir. Özel kullanımlar için maliyeti bir hayli yüksek olan bu filtrenin yapımı da oldukça zordur.

Astronomik gözlemlerde ve ölçümlerde çoklukla herhangi bir atomun spektral emisyon(ışınım), veya soğurma(yutma) çizgisine karşılık gelen belli bir dalga boyundaki ışığın kontinyumdan(sürekli yapıdan) ayırmak gerekir. Çünkü bu yolla atomun mevcut fiziksel koşullara gösterdiği tepkiden yola çıkılarak çok değerli veriler toplamak olasıdır. Yine tek dalga boyunda(monokromatik) gözlemlerde ışık şiddeti ölçümlerinden gözlenen yıldızdaki veya güneşteki madde bolluklarından yararlanılarak yıldızın tipi ve sıcaklığı saptanabilir. Güneş yüzeyindeki manyetik alanlar, manyetizasyon seviyesi ve bunların zaman içindeki değişimi, örneğin kalsiyum gibi manyetik alana duyarlı maddelerin spektral çizgilerini diğer dalga boylarından soyutlayan ışık filtreleri yardımı ile görüntülenebilir ve bazı fiziksel parametreler hesaplanabilir.

İstenilen dalga boyunu soyutlamanın birkaç yöntemi vardır; 1- Işığın saçılmasından (dispersiyon) faydalanılarak yapılan şebekeli(grating) veya prizmalı spektrograf veya spektrometreler(güneş gözlemleri için spektroheliyograflar). 2- Işığın girişim(interferens) ve polarizasyon özellikleri kullanılarak yapılan, soğurması yüksek olduğu için, daha çok güneş gözlemlerinde kullanılan Lyot filtreleri. 3- Işığın sadece girişim özelliğinden yararlanılarak yapılan ince film(ince katçık) kaplama girişim filtreleridir.

Biz bu çalışmada optik kaplama yöntemiyle dar bantlı 6563 Å° H α ince katçık filtresi yaptık. Optik kaplamalar; renk – dalga boyu – soyutlama, optik bileşenlerinin yansıtmasını ve geçirgenliğini sınırlamak için kullanılır. Optik kaplamalar çok çeşitli olmakla beraber:

- 1- Belirlenen bir dalga boyunda veya dalga boyu aralığında yansıtmayı azaltan yansıtma önleyici(antirefleksif) kaplamalar
- 2- Küçük bir dalga boyu aralığını geçiren dar-bantlı geçirgenlik filtreleri
- 3- LASER aynalarında olduğu gibi hepsi dielektrik ince katçıklarla yapılan yüksek yansıtmalı aynalar 4- metal aynalar ve yansıtması artırılmış metal-dielektrik aynalar olarak sınıflandırılabilir.

Tanımlar:

Dalga Boyu: Dalgalar eşit zaman aralıkları ile üretiliyorsa, elde edilen dalgalara periyodik dalga denir. Bir tam dalganın oluşması için geçen süreye periyot denir. Peş peşe gelen iki dalga tepesi veya iki dalga çukuru arasındaki yatay uzaklığa (bir periyotluk sürede dalganın aldığı yola) dalga boyu denir.

Yansıma: Işık ışınları, homojen ortamlarda doğrular boyunca yayılırlar. Doğrular boyunca yayılan bir ışık ışınının parlak bir yüzeye çarpıp, geldiği ortama geri dönmesi olayına yansıma denir.

Soğurma: Herhangi bir enerjinin bir madde tarafından başka tür enerjilere dönüştürmek üzere alınması.

Geçirgenlik: Saydam bir ortamdan geçen ışığın şiddetinin gelen ışığın şiddetine oranı

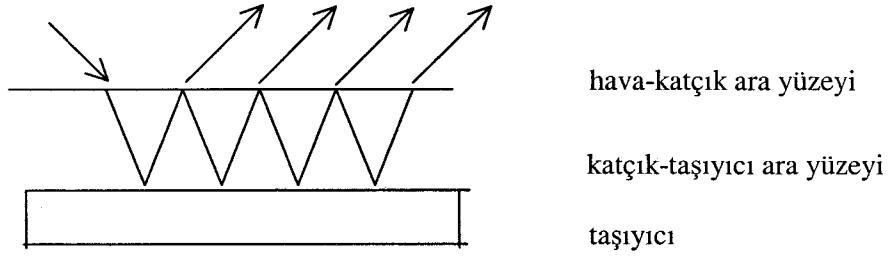
Girişim: İki veya daha çok dalga hareketinin aynı noktaya aynı anda gelmesiyle birbirini yok edebilmesi veya kuvvetlendirebilmesi olayıdır.

2.Yöntem:

Bu projeye başlarken; İnce film kaplamanın teorisi ve bu teoriye dayalı olarak geliştirilen girişim(interferans) temelli filtrelerin teknik tasarımlarının hangi yöntemlerle yapıldığı çeşitli kaynaklardan incelenerek Fabry-Perot metodunun kullanılmasına karar verildi.

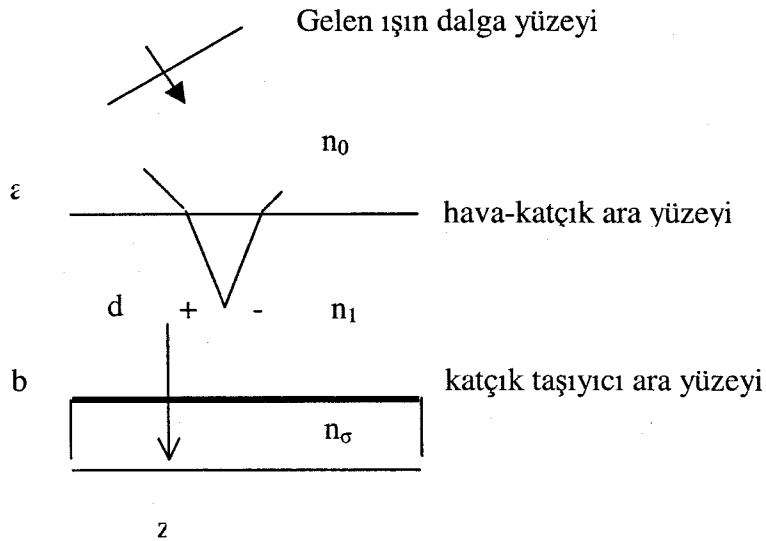
3. Teori:

3.1. İnce Filmlerin Yansıtması(Reflectance): İnce katçık deyimi ile optik kalınlığı bir dalga boyundan örneğin görünür ışığın ortası kabul edilen yeşil ışık için 5500 Å dan daha ince bir kalınlıkla bir kaç dalga boyu arasındaki bir kalınlıkta olan bir katman kast edilmektedir. Teknik olarak böyle bir katman bir taşıyıcı, örneğin bir cam üzerine yapılan kaplamayla elde edilir. Böyle bir katmanda şekil 1. de gösterildiği gibi bir dizi yansıma ve geçirgenlik dizisi meydana gelir. Hava – dielektrik katman ara yüzeyinde oluşan yansıma ile dielektrik katman – numune(cam) ara yüzeyinde oluşan yansıma arasında bir faz kayması meydana gelir. Katçığın optik kalınlığı, geçmesi istenen dalga boyu için yapıcı girişim(constractive interference) ve geçirmemesi istenen dalga boyları için söndürücü girişim(destructive interference) oluşacak faz farkı verecek şekilde hesaplanır.



Şekil 1: Katçık-taşıyıcı ara yüzeyinde çoklu yansıma

İnce katçık ışık süzerleri farklı kırma indislerine sahip birçok farklı kalınlıklarda hesaplanan katçığın üst üste kaplanmasıyla üretilir. Katçıkların kalınlıkları tüm kombinasyonun istenen şekilde yapıcı ve söndürücü girişim yapacak optik yol farkını verecek şekilde hesaplanır.



Şekil 2

Işık üç boyutlu ortamda, elektrik vektörü, manyetik vektör, ve yayılma vektörü birbirlerine dik olan bir elektromanyetik dalgadır. Elektrik, manyetik ve yayılma vektörlerini sırasıyla $E, H,$ ve k ile gösterirsek

$$\mathbf{H} = \eta(\mathbf{k} \times \mathbf{E}) \quad (2.1)$$

dir. Burada $N = (n - i\kappa)$ karmaşık kırma indisidir, n - kırma indisi, κ - sönme katsayısıdır. Dielektrik maddelerde κ , sıfır kabul edilebilecek şekilde küçüktür. Şekil 2 de hava-katçık ara yüzey sınırı “a” ile ve katçık taşıyıcı ara yüzeyi “b” ile gösterilmiştir.

Şekilde, üç boyutlu koordinatlara göre sisteme doğru gelen dalgalar +Z yönünde (pozitif yönde giden dalgalar) ve sistemden uzaklaşan dalgalar -Z yönünde (negatif yönde giden dalgalar) kabul edilmiştir. Elektromanyetik teoriye göre bir ara yüzey sınırında gelen dalganın elektrik vektörü, büyüklük bakımından, kırılarak geçen dalga ile yansıyan dalganın elektrik vektörleri toplamına eşittir. Buna göre katçık-taşıyıcı ara yüzeyinde elektromanyetik teoremin sınır şartlarını uygularsak;

$$H_b = H_{1b}^+ + H_{1b}^- = \eta_1(\mathbf{k} \times E_{1b}^+) - \eta_1(\mathbf{k} \times E_{1b}^-) \quad (2.2)$$

$$E_b = E_{1b}^+ + E_{1b}^- \quad (2.3)$$

$$\mathbf{k} \times E_b = \mathbf{k} \times E_{1b}^+ + \mathbf{k} \times E_{1b}^- \quad (2.4)$$

(2.2) ve (2.3) bağıntılarını kullanarak

$$2\mathbf{k} \times E_{1b}^+ = H_b/\eta_1 + \mathbf{k} \times E_b \quad (2.5)$$

$$2\mathbf{k} \times E_{1b}^- = -H_b/\eta_1 + \mathbf{k} \times E_b \quad (2.6)$$

Yukarıdaki bağıntılar katçık-taşıyıcı ara yüzeyindeki koşulları göstermektedir. Hava-katçık ara yüzeyindeki koşullar için pozitif yönde giden dalgayı $e^{i\delta}$ ile, negatif yönde giden dalgayı $e^{-i\delta}$ ile çarpmak gerekir çünkü dalga 0 dan -d yönünde hareket etmektedir. Burada “ δ ” ışığın kat ettiği farklı optik yol farkından doğan faz farkıdır.

$$\delta = (2\pi N/\lambda) \cos \theta_1 \cdot d \quad (2.7)$$

“a” ara yüzeyinde E ve H değerleri

$$E_{1a}^+ = E_{1b}^+ e^{i\delta} \quad \text{i.e.} \quad \mathbf{k} \times E_{1a}^+ = \frac{1}{2} (H_b/n_1 + \mathbf{k} \times E_b) e^{i\delta} \quad (2.8 a)$$

$$E_{1a}^- = E_{1b}^- e^{-i\delta} \quad \text{i.e.} \quad \mathbf{k} \times E_{1a}^- = \frac{1}{2} (-H_b/n_1 + \mathbf{k} \times E_b) e^{-i\delta} \quad (2.8 b)$$

$$\mathbf{H}_{1a}^+ = \mathbf{H}_{1b}^+ e^{i\delta_1} = n_1 \cdot \mathbf{k} \times \mathbf{E}_{1a}^+ = -n_1 / 2 (\mathbf{H}_b / n_1 + \mathbf{k} \times \mathbf{E}_b) e^{i\delta_1} \quad (2.8 c)$$

$$\mathbf{H}_{1a}^- = \mathbf{H}_{1b}^- e^{-i\delta_1} = n_1 \cdot \mathbf{k} \times \mathbf{E}_{1a}^- = -n_1 / 2 (-\mathbf{H}_b / n_1 + \mathbf{k} \times \mathbf{E}_b) e^{-i\delta_1} \quad (2.8 d)$$

böylece

$$\begin{aligned} \mathbf{K} \times \mathbf{E}_a &= \mathbf{k} \times \mathbf{E}_{1a}^+ + \mathbf{k} \times \mathbf{E}_{1a}^- \\ &= \mathbf{k} \times \mathbf{E}_b (e^{i\delta_1} + e^{-i\delta_1}) / 2 + 1 / n_1 \mathbf{H}_b (e^{i\delta_1} - e^{-i\delta_1}) / 2 \\ &= \mathbf{k} \times \mathbf{E}_b \cos \delta_1 + 1 / n_1 \mathbf{H}_b i \sin \delta_1 \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_a &= n_1 \cdot \mathbf{k} \times \mathbf{E}_b (e^{i\delta_1} - e^{-i\delta_1}) / 2 + \mathbf{H}_b (e^{i\delta_1} + e^{-i\delta_1}) / 2 \\ &= n_1 \cdot \mathbf{K} \times \mathbf{E}_b i \sin \delta_1 + \mathbf{H}_b \cos \delta_1 \end{aligned} \quad (2.10)$$

(2.9) ve (2.10) bağıntıları daha kullanışlı olan matris şekle sokulursa.

$$\begin{bmatrix} K \times E_a \\ H_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_1 & (i \sin \delta_1) / \eta \\ i \eta \sin \delta_1 & \cos \delta_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} K \times E_b \\ H_b \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Bu matris geliş ara yüzeyindeki E ve H ın teğetsel bileşenlerini son ara yüzeydekilerle bağıntılandırır. Ortadaki matris ince katçık analizleri için çok önemlidir. Bu bağıntıda

$$\delta = (2 \pi N / \lambda) \cos \theta \cdot d \quad (2.12)$$

“δ” ışığın d kalınlığındaki ince katçığı aşarken oluşan faz farkı, “λ” katçığın kalınlığını hesaplamada kullanılan dalga boyu, “θ” geliş açısı, yani huzme ile ara yüzeyin normali arasındaki açı, “N” karmaşık(complex) kırma indisi ki burada N= n - iκ dir. n= kırma indisi “κ” sönme katsayısıdır. “κ” dielektrik olmayan (iletken) maddelerde dikkate alınması gerekli bir değere sahiptir buna karşın dielektrik (iletken olmayan) maddelerde ya sıfır veya çok küçük değere sahiptir. Böylece dielektrik maddelerde transfer elektrik -TE- (başka bir tanımlamayla P-polarize dalgalar yani elektrik vektörü geliş düzlemine paralel) dalgalar için

N = n ve η = N cos θ dir. Transfer magnetik -TM- (s-polarize yani manyetik vektör geliş düzlemine paralel) dalgalar için N = N / cos θ dır.

H = N (k x E) olduğunda aynı benzerlikle

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}_a / \mathbf{k} \times \mathbf{E}_a \quad (2.13)$$

Burada Y tüm sistemin admitansını gösterir. Böylece geliş ortamını η_o katçıklar sistemini toplam admitansı Y olan (yani sistemin tamamının kırma indisi –admitansı-) tek bir katman gibi kabul ederek Fresnel yansıtma katsayılarını kullanarak

$$r = (\eta_o - Y) / (\eta_o + Y) \quad (2.14)$$

(2.1) nolu bağıntıyı kullanarak (2.11) bağıntısı

$$K \times E_a = \begin{bmatrix} 1 \\ Y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \delta_1 & (i \sin \delta_1) / \eta \\ i \eta \sin \delta_1 & \cos \delta_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ K \times E_b \\ \eta_2 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

şekline dönüşür.

Çoğunlukla da olduğu gibi, kaplama birden çok katmandan oluşursa her bir katman için ortadaki matris yazıldığı maddenin fizik parametreleri ile ayrı olarak yazılır matrislerin çarpımları sonucunda genel -Y- admitansı bulunur.

Ortakdaki matrisin bizim için önemli olan bir matematik özelliği vardır, ortakdaki matris birim matristir. Yani bu matrislerin sağdan çarpımı ile soldan çarpımı birbirine eşittir. Bu matematik sonuç fiziksel özelliklerle de uyushmaktadır, bunu geçirgenlik iki yönde de eşittir şeklinde özetleyebiliriz.

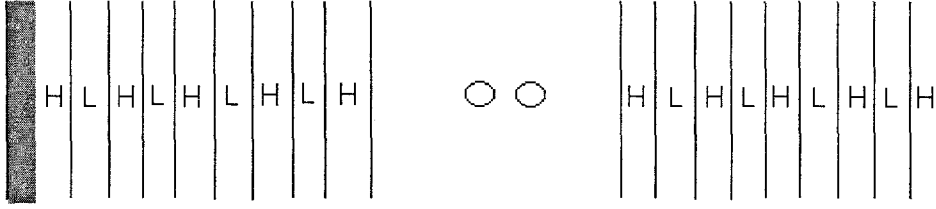
3.2. Tasarım ve Üretim Aşaması (Fabry-Perot Metodu)

Filtremizi hidrojenin Balmer serisinin α ışına çizgisine karşılık gelen 6563 Å° dalga boyunda Zemax-EE tasarım programı kullanarak tasarladık. Tasarım sırasında Fabry-Perot dielektrik filtre yöntemini kullandık. Fabry-Perot filtreleri kısaca iki yüksek yansıtıcı tabaka arasında kalan bir aralık olarak tanımlanabilir. Dielektrik Fabry-perot filtrelerde birden fazla katman bir araya gelerek yüksek yansıtıcılık elde edilmeye çalışılır ve bu katmanlar arzu edilen ışığı geçirip, diğer dalga boylarındaki ışınımı yansıtacak şekilde dizilmişlerdir. Bizim filtremizde yüksek yansıtıcı katman dokuz dielektrik katçık bir araya getirilerek elde edilmiştir. Katçıklar çeyrek dalga boyunda yüksek ve düşük indisli materyallerle yapılmıştır. Kullanılan yüksek kırma indisli materyal olarak TIO₂ (*titanyumdioksit*) ve düşük kırma indisli materyal olarak SIO₂ (*silisyumdioksit*) alınmıştır. Taşıyıcı olarak ise RG10 cut-off cam kullanılmıştır. Bu materyallere ait kırma indislerinin dalga boylarına göre dağılımları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1

Madde	Dalga Boyu (renk) (nm)	Kırma İndisi	Sönme katsayısı
TiO₂	300	2.73	0.02550
	400	2.54627	0.00253
	500	2.35785	0.00045
	550	2.31836	0.00016
	600	2.29175	0.00000
	656.3	2.27222	0.00023
	700	2.26157	0.00028
SiO₂	300	1.48780	0.00000
	400	1.47019	0.00000
	500	1.46235	0.00000
	550	1.45992	0.00000
	600	1.45808	0.00000
	656.4	1.45637	0.00000
	656.5	1.45531	0.00000
RG10 cam (cut-Off)	300	1.56000	0.00000
	400	1.56000	0.00000
	500	1.56000	0.00000
	550	1.56000	0.00000
	600	1.55953	0.00000
	656.6	1.55740	0.00000
	700	1.55575	0.00000

Tasarlanan sistem, aşağıdaki şekil üzerinde özetlenebilir.

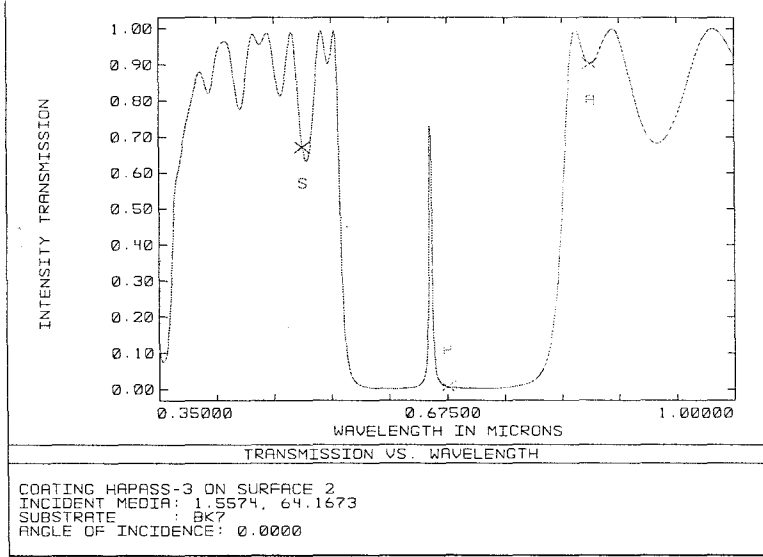


Şekil 3

Zemax-EE yazılımı kullanılarak hazırlanan filtremizin tasarımına ait ayrıntılar ve grafikler aşağıdadır.

4. Filtrenin Tasarımı

H α filtresinin(ışık süzerinin) tasarımı Zemax-EE optik tasarım programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarımda yüksek kırma indisli madde olarak TiO₂, düşük kırma indisli madde olarak SiO₂ dielektrik özellikli maddeler ve cut-off olarak RG10 camı kullanılmıştır. Filtre Fabry-Perot tipi ikinci mertebeden filtre olarak tasarlanmıştır.



Şekil 4: Grafik (1): Filtrenin 350 nm. ile 1000 nm dalgaboyları arasındaki etkinliği.

400-700 nm arasında görünür dalga boyları yeralmaktadır. Ortada 656.3 nm deki H α geçirgenlik eğrisinin sol tarafında görülen emisyon, Cut-off camı tarafından durdurulmaktadır. Sağ tarafında görülen geçirgenlik ise görünür dalga boylarının dışında kalmaktadır.

4.1. Kaplama Tanımlaması

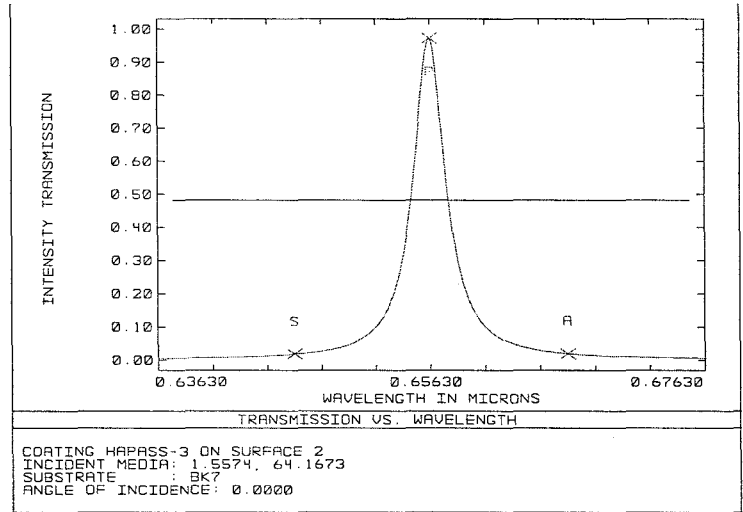
H α - 656,3 nm. Filtre

4.1. Kaplama Tanımlaması

H α - 656,3 nm. Filtre

Tablo 1:

Material	Thickness
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	1.000000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000
SiO ₂	0.250000
TiO ₂	0.250000



Şekil 5: Filtrenin geçirgenliği %89 , yarı bant genişliği 27 Å olarak hesaplanmıştır. (Bağıl geçirgenlik)

Tasarım sonucunda filtrenin; 6563 Angstromda %89 geçirgenliğe sahip yarı bant genişliği 27 Angstrom (6563 $\pm$ 13.5 Angstrom) olduğu tespit edilmiştir.

Kaplama RG10 cut-off cam üzerine, DENTON Integrity 44 Yüksek Vakumlu Optik İnce Film Kaplama Cihazı kullanılarak yapılmıştır.

4.2. Kaplama Düzeneği:

Bu cihaz, atmosfer basıncının milyarda biri seviyelerinde yüksek vakum altında çok yüksek saflıkta değişik malzemelerin buharlaştırılmasıyla mercek, prizma ve ayna gibi optik elemanların üzerine yansıma ve geçirgenlik sağlayan filtrelerin kaplanması işleminde kullanılır.

Optik ince film filtrelerin üretiminde çok yüksek saflıkta Titanyum, Zirkonyum, Germanyum, Tungsten gibi erime sıcaklıkları 5000 °C'lere ulaşan çok değerli metallerin yüksek enerjili elektron bombardımanı ile buharlaştırılması yöntemi kullanılır.

Buharlaştırma işleminde; mercek, prizma, ayna vb. optik elemanların yüzeyinde milimetrenin milyonda biri (nanometre) seviyelerinde hassasiyetle ayarlanabilen çok sayıda katman biriktirilebilir. Tüm işlemler bilgisayar denetiminde otomatize olarak gerçekleştirilmektedir.

Optik ince filmlerle elde edilen filtreler sayesinde ışığın istenilen dalga boyunun istenilen seviyelerde geçirilmesi veya yansıtılması sağlanır. Bu sayede çeşitli amaçlara uygun filtreler üretilebilir.

Bilgisayar kontrollü olan sistem iki adet altışar gözlü elektron beam (huzmesi) kaynağı ve iki adet buharlaştırma (evaporasyon) kaynağı ile donatılmıştır. Buharlaştırma (evaporasyon) kaynağı genellikle tungsten, molibdenium, tantalum gibi metallerden yapılır ve üzerine yüksek akım uygulanarak yüksek sıcaklıklara çıkması sağlanır bu tel üzerine yerleştirilmiş olan malzeme eriyip buharlaşır ve molekülleri hız kazanarak kaplanacak çarpar ve yapışır. Vakum ortamında olduğundan moleküllerin ortalama serbest yolları çok uzundur, yüzeye ulaşana kadar çoğunlukla başka bir molekülle çarpışmaz. Elektron beam kaynağa ise malzeme alt tarafı su soğutmalı bir kaba yerleştirilir kabın yine alt tarafında üretilen elektronlar güçlü bir manyetik alanla 180 derece döndürülüp malzeme üzerine çarptırılır böylece malzemenin ısıyıp buharlaşması sağlanır. Sistemde bir adet iyon beam ve bir adet glow discharge kaynağı mevcuttur. Argon ve Oksijen gazı için kontrol düzeneği ile donatılmıştır. Vakum odasının üst tarafında içinde kaplanacak numunelerin yerleştirildiği planetler gibi hem kendi hem de orta eksen etrafında dönen bir taşıyıcı vardır (planetary work holder). Bu tür taşıyıcı yüzeyde eş dağılım sağlamak için önemlidir. Sistemde bir adet modulated beam (huzme) fotometresi ve bir de kuvars kristalli kalınlık ölçeri vardır. Kaplama sırasında, her katmanda oluşan kalınlık modulated beam fotometresi veya kuvars kristalli ölçerle saptanır ve oluşan ince katçık önceden hesaplanan kalınlığa geldiğinde, madde kaynakları üzerindeki kesiciler, (shutter) olarak kapatılarak kaplama durdurulur. Bu işlem uygulamayı yaptığımız sistemde bilgisayar kontrollü olarak yapılmaktadır. Modulated beam fotometresinde, kaplama da katçıklar eklendikçe oluşan, bileşimin, ölçüm şekline göre, yansıtmasının veya geçirgenliğinin önceden hesaplanan değere ulaşmasıyla kalınlık kontrolü yapılır. Her katman eklendikçe, filtreyi yapmayı amaçladığımız dalga boyunda oluşacak yansıma veya geçirgenlik önceden hesaplanır kaplama sırasında o değere ulaştığımızda istenilen optik kalınlık elde edilmiş olur. Modulated beam fotometresi optik kalınlığı ölçer. Buna karşın kristalli ölçerler katçığın fizik kalınlığını ölçer. Kaplamada kristal üzerine biriken maddenin ağırlığının kristalin titreşim frekansında meydana getirdiği azalmanın kalınlıkla kalibre edilmesi esasına dayanarak ölçüm yapar. Frekans değişimi kalınlığın ve madde yoğunluğunun fonksiyonudur

4.3. Kaplama İşlemi:

Cut-off camı ve kaplama sonrası ölçümleri yapabilmek için dört adet beyaz cam. Önce deterjanla daha sonra etil alkol ve eter karışımıyla temizlenerek döner taşıyıcıya yerleştirilmiştir ve daha sonra antistatik fırça ile yüzeye yapışan tozlar temizlenmiştir.

Elektron beam kaynaklara TiO_2 ve SiO_2 kimyasal maddeleri yerleştirilmiştir. Vakum odasının kapağı kapatılarak odanın havası boşaltılmaya başlanmıştır. Önce 1×10^{-4} torr vakum değerine erişilmiş daha sonra vakum değeri 8×10^{-2} düşene kadar içeriye argon gazı verilmiştir. Glow Discharge çalıştırılıp yüksek voltaj verilip (<3000 volt) plazma oluşturulmuş ve kaplanacak camlar negatif yüklü taneciklerle bombardıman edilerek son kez temizlenmiştir. Daha sonra içeriye argon gazı verilmesi durdurulup ve vakumun en az 2×10^{-6} torr a kadar yükselmesi beklenmiştir. Kaplama işlemi tasarımı gösterildiği sırayla ve kalınlıklarla yapılmıştır. Kalınlık ölçer olarak kristal osilatörün kullanılması tercih edilmiştir.

Cut-off camın kaplanması sırasında cihazın shutters(kapatici sisteminde) ve elektron bombardımanı sağlayan sisteminde çıkan aksaklıklar sebebiyle kaplama gecikmiştir. Bu arızalar giderildikten sonra tasarlanan kaplama uygulanmış ve 6563 Å dalga boyundan 30nm lik bir kayma tespit edilmiştir. Bu kaymanın kuvars kristal osilatörünün kalibrasyonu ile ilgili olduğu düşünülerek gerekli kalibrasyon yapıp tekrar kaplama uygulanacaktır.

Yapılan kaplamanın korunması amacıyla B 270-Superwhite cam kullanılarak filtre tamamlanmıştır.

5. Sonuçlar ve Tartışma:

1.) Projemize başlarken, ince film kaplama optiği ile ilgili gerekli teorik araştırmalar ve literatür taraması yapılmıştır. Teori kavrandıktan sonra uygulama için en kolay olduğu düşünülen yöntem seçilmiştir (Fabry-Perot metodu)

2.) Tasarım yaparken genel bir optik tasarım programı olmasına rağmen bizim açımızdan ulaşılabilir olduğu için Zemax-EE programı kullanılmıştır.(Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nin imkanlarından yararlanılarak.) Tasarım çalışmaları sırasında yarı bant genişliği arttıkça geçirgenliğin de arttığı görülmüştür.

3.) Denton Vacuum Integrity 44 Optik Kaplama Sistemi kullanılarak tasarım RG10 cut-off cam üzerine uygulanmıştır (uygulama 1 nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Arifiye/SAKARYA'da gerçekleştirilmiştir.)

Uygulama aşamasında:

a.) Cihazda daha önce çalışıldığı için TiO_2 ve SiO_2 materyalleri kullanılmıştır (Ti ve Si elementlerinin kullanılması, projemiz için bir kısıtlılık olduğundan tasarımı buna dikkat edilmiştir.)

b.) Kırmızı cut-off cam kırmızı bölgedeki dalga boylarına ait emisyonu kesmek amacıyla seçilmiştir.

c.) Yapılan kaplamayı korumak amacıyla kullanılan B 270 Superwhite camın geçirgenliği %90 olduğundan tasarımı planlanan %89 lik geçirgenlik sağlanamamıştır.(Bu da diğer bir kısıtlayıcı unsur olmuştur. Camın teknik özellikleri Ek te verilmiştir.) Bu camı kullanma amacımız filtrenin daha uzun süre bozulmadan kullanılabilmesini sağlamaktır.

4.) Kaplama sonrasında elde edilen Halpha filtresinin tasarlan filtreye uygunluğunun ölçülmesi amacıyla, okulumuzda mevcut SHIMADZU marka UV-2101/3101 PC model spektrofotometre (spektrofotometrenin teknik özellikleri Ek te verilmiştir) kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda beklenmeyen oranda 6563 Å Angstromluk Halpha dalga boyundan 300 Å Angstromluk bir uzaklaşma tespit edilmiştir. Ölçümleri doğru yapabilmek ve spektrofotometreyi kullanmayı öğrenmek amacıyla üç adet geçmiş tarihlerde üretilmiş (tasarım materyalleri -reçeteleri- tarafımızdan bilinmeyen) Halpha filtresi ödünç alınarak, geçirgenlikleri ile yarı bant aralıklarının ölçümleri tarafımızdan yapılmıştır.

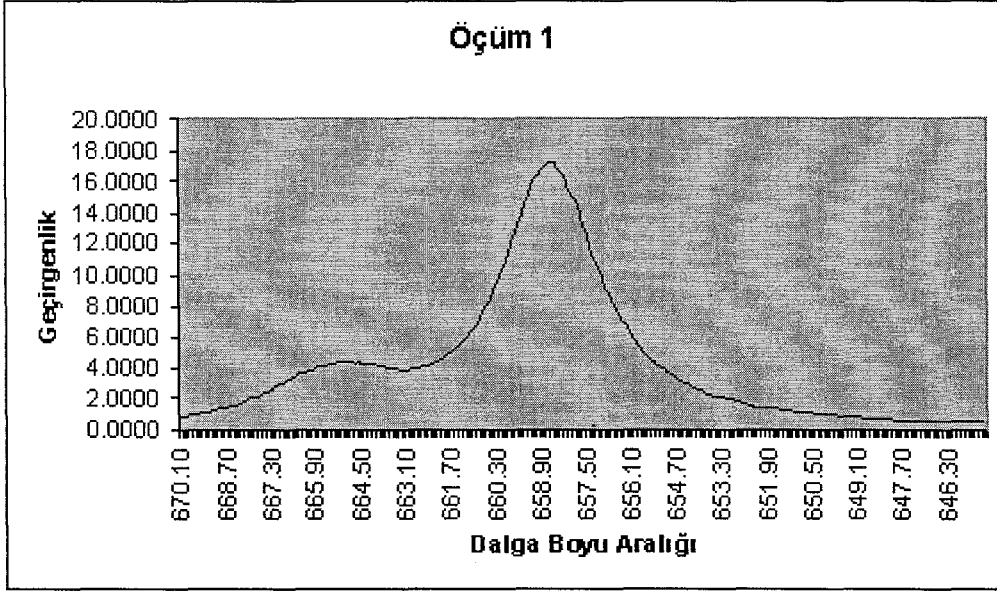
a.) Bu ölçümler sonucunda filtrelerin zamanla amaçlanan özelliklerini yitirdikleri saptanmıştır. Bu ölçümler ile ilgili kısa bilgiler aşağıdadır.

1. ÖLÇÜM:

Pik:6586 A°

Geçirgenlik:17,19

Yarıbant Aralığı:.....37,7 A°



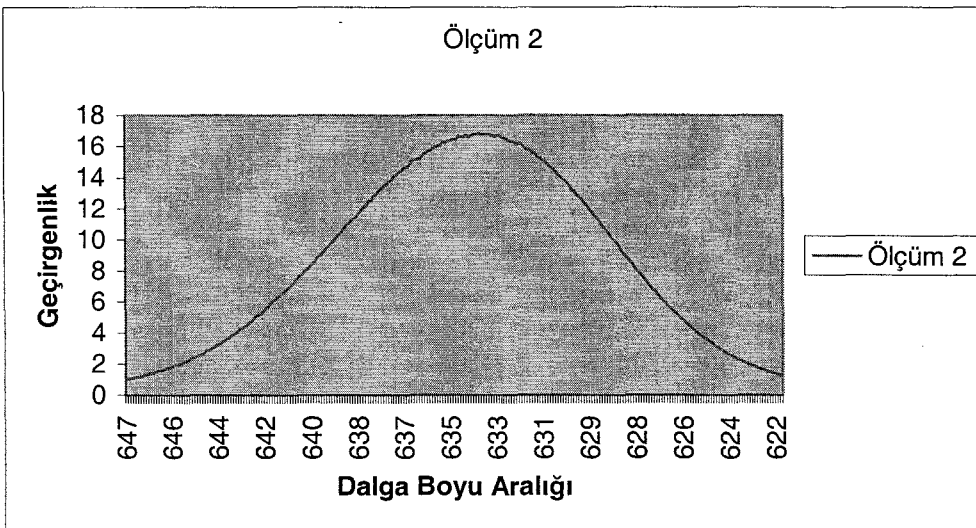
Şekil 6: Ölçüm 1

2. ÖLÇÜM

Pik:.....6337 A°

Geçirgenlik:.....16,8

Yarıbant Aralığı:.....124 A°



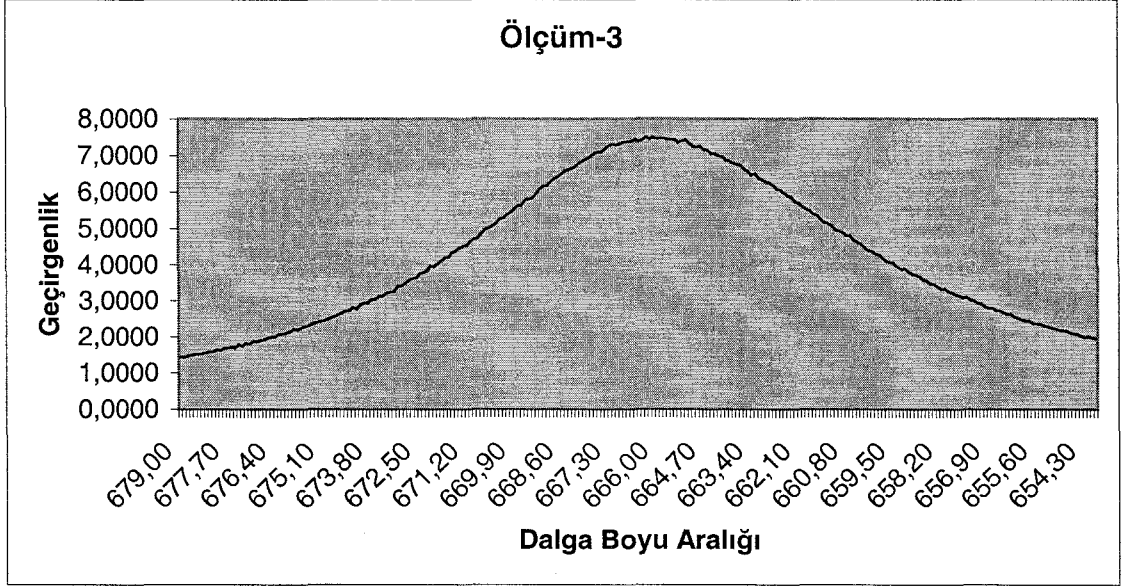
Şekil 7: Ölçüm 2

3.ÖLÇÜM

Pik:.....6669 A°

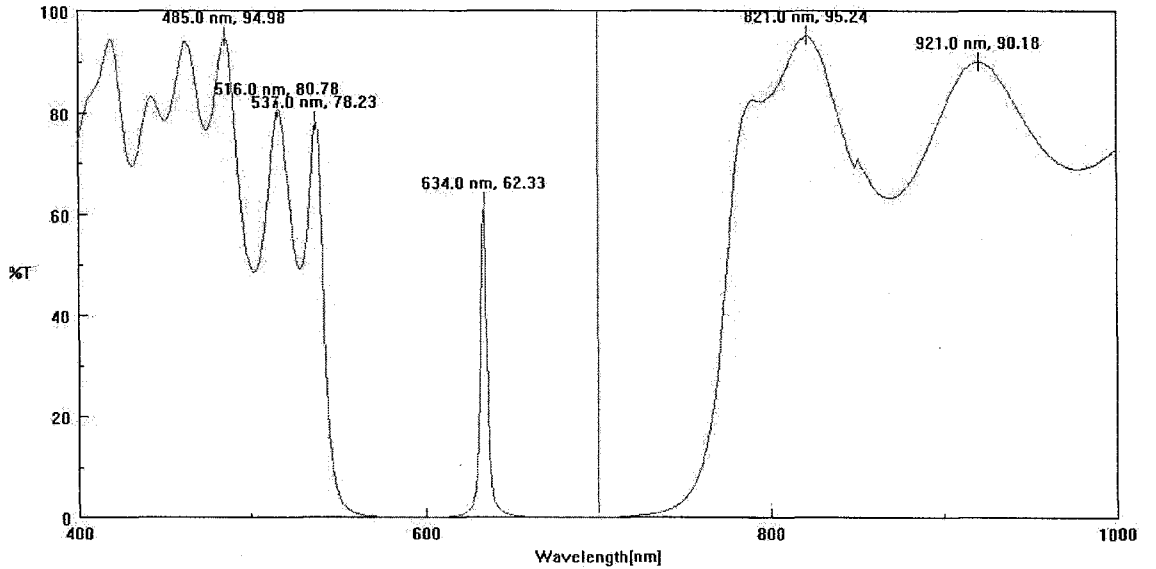
Geçirgenlik:.....7,356

YarıbantAralığı:.....57A°



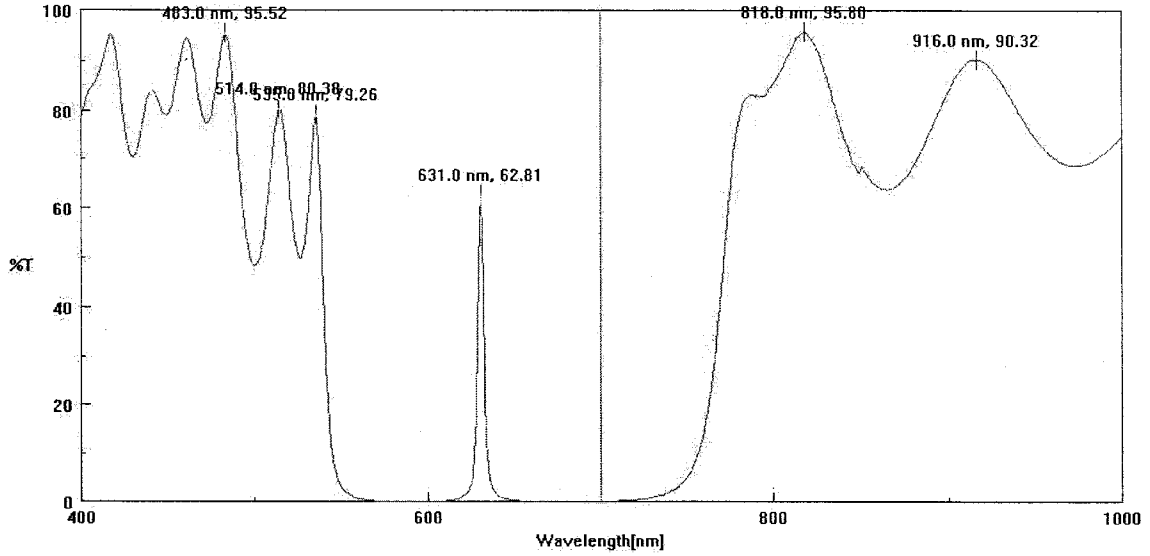
Şekil 8: Ölçüm 3

b.) Kendi tasarımımla elde ettiğimiz filtremizin koruyucu cam olmadan üç ayrı tarihte alınan ölçümleri aşağıdadır.



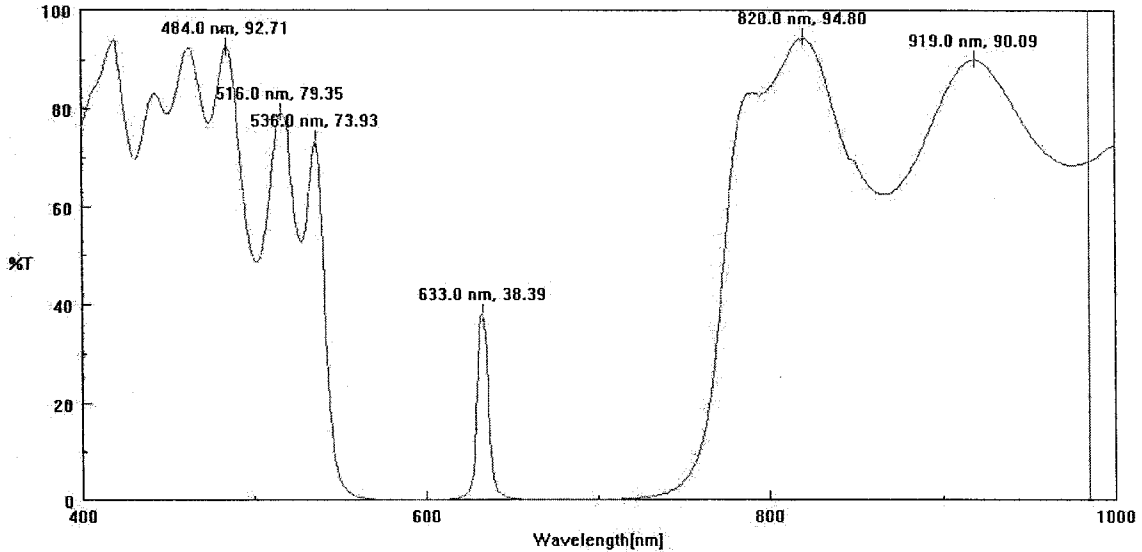
03.02.2005 tarihinde yapılan ilk ölçüme ait değerler yukarıdaki grafiktedir. Bu alınan ilk ölçümdür. Grafikte, spektrumdaki dalga boylarının maksimum değerleri (peak) ve

maksimum geçişkenlik (transmisyon) değerleri kaydedilmiştir. (veriler: dalga boyu,pik değeri sıralaması ile yazılmıştır.)



Şekil 10: 04.02.2005 tarihinde yapılan ölçümler

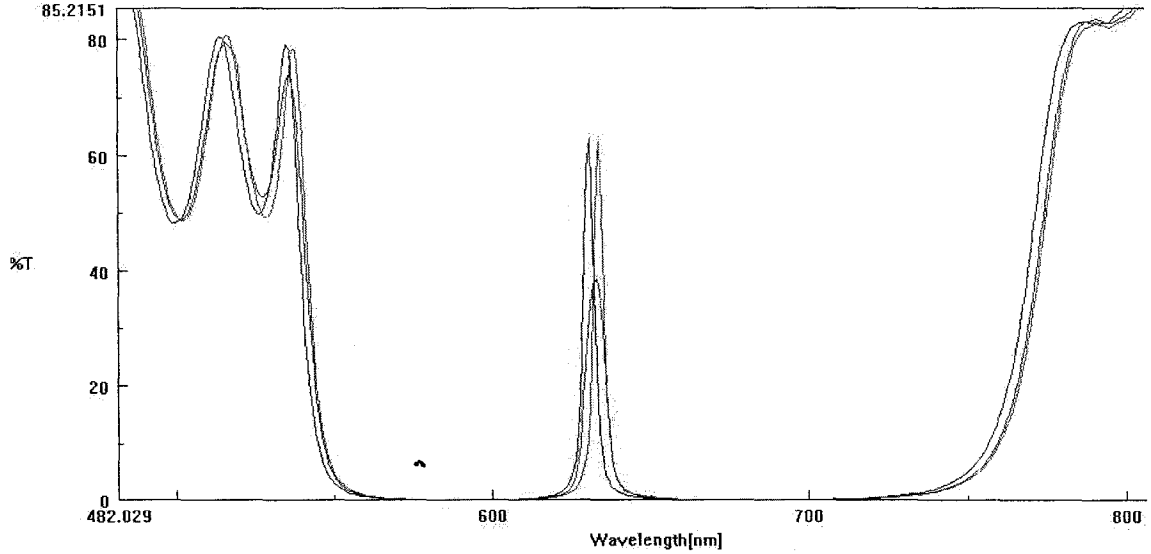
04.02.2005 tarihinde yapılan ölçümlere ait grafik üsttedir. Bu grafikte görülen 631.0 nm, 62.81 değerlerini veren emisyon çizgisi referans alınır, bir gün önce yapılan ölçümlerde bu değerlerin 634.0 nm, 62.33 olduğu görülmektedir.



Şekil 11: 07.02.2005 tarihinde yapılan ölçümler

07.02 2005 tarihinde yapılan ölçümlerde ise referans çizginin ölçülen değerlerinin 633.0 nm, 38.39 olduğu görülmüştür. Bu ölçümde en dikkat çekici unsur, geçirgenlikteki düşmedir.

Aynı filtre için farklı tarihlerde yapılan ölçümlerin değişkenlik göstermesinin sebebinin kullanılan materyalin oksijenle reaksiyonu olduğu düşünülmektedir. Filtre- hava teması oksitlenmeye sebep olmaktadır. Koruyucu B 270 Superwite camın bu sakıncayı da azaltacağı düşünülmektedir. Kullanılan materyaller (SIO₂ ve TIO₂ idi)



Şekil 12: Farklı tarihlerde alınan ölçümlerin karşılaştırılması

Yukarıdaki grafik ise farklı tarihlerde alınan ölçümlerin karşılaştırılması amacıyla aynı düzlemde çizilmesi ile oluşturulmuştur. Transmisyonundaki (Geçirgenlik) düşüş miktarı bu karşılaştırmada daha iyi görülmektedir.

Halpha filtremizi nasıl tasarlayacağımızı planladığımız aşamada geçirgenliğin yüksek olmasını ve bu darbant filtrenin hem güneş gözlemi için, hem de nova- süper nova gibi derin uzay cisimlerinin gözlenmesi için kullanılabilir olması hedeflenmiştir. Bu tercihler doğrultusunda yarı bant genişliği 20-30 Angstrom aralığında ve mümkün olacak en büyük geçirgenlikte olması planlanmıştır. Tasarım mevcut kısıtlılıklar çerçevesinde ve planlanan değerlere uygun olarak yapılabilmektedir. Ölçümümüzün sonucuna göre, optik kaplamanın tasarıma uygun olarak yapılamadığı görülmüştür.

5.) Sonuç olarak bu filtrenin düzeltilerek tekrar kaplanmasına karar verilmiştir.

Bu amaçla düzeltme gerektirebilecek konular:

a.) Optik kaplama sistemindeki kuvars kristal monitörünün osilasyonunun kalibrasyonu (Kaplama sırasında doğru kalınlıkların uygulandığından emin olmak gerekecektir.)

b.) Oksitlenme etkisinin kontrolü ve azaltılması amacıyla, kaplamadan sonra filtrenin yeterince uzun süre vakum ortamda tutulması ve soğutulması sağlanacak ve koruyucu camın geçirgenlik dışında dalga boyu üzerinde oluşturabileceği kayma etkisi gerekirse yeni tasarımı dikkate alınacaktır.

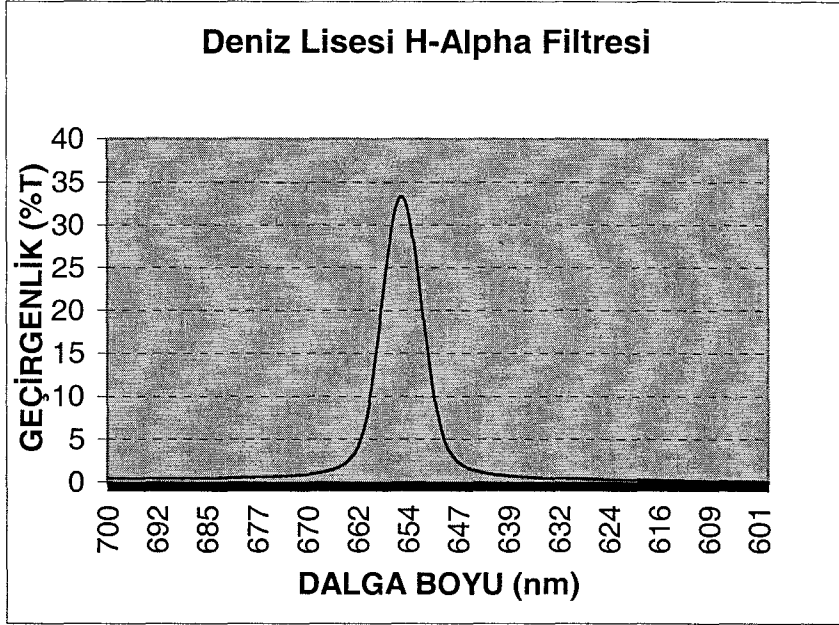
Ortaya çıkan sonuçta etken olduğu düşünülen düzeltmeler sonrasında filtre yeniden kaplanarak ölçümler tekrarlanacaktır. Bu işlemin mevcut soruna çözüm olacağı düşünülmüştür.

6.) Kuvars kristalin kalibrasyonu yapılarak filtre tekrar kaplanmış ve filtre vakum ortamda 2-3 saat mertebesinde bekletilmiştir. Yeniden kaplama sonucu elde edilen filtre ile ilgili ölçüm değerleri aşağıda verilmiştir.

Pik : 6554 Å°

Geçirgenlik : 33,31

Yarıbant genişliği : 83 Å°



Şekil 13: Kaplama sonucu elde edilen filtre ile ilgili ölçümler

7.) Filtrenin istenene yakın değerlerde kaplanması sonrasında okulumuzda bulunan Schmidt-Cassegrain 8'' LX200 model teleskop ile birlikte kullanılarak öncelikle güneş fotoğraflarının alınması denenmiştir. Bu aşamada da karşılaşılan bazı sorunlar olmuştur. Bu sorunlar da elde edilen fotoğraflar incelenerek giderilmeye çalışılmaktadır.

Projemiz, başlarken düşündüğümüzden çok daha uzun soluklu olmuştur. İnce film kaplama konusunun ne kadar derin ve ayrıntılı bir konu olduğuna inanmadığımızı belirtmek isteriz. Her şeye rağmen Halpha filtremiz ile fotoğraf çekme amacımızı gerçekleştirmekten vazgeçmeyeceğiz.

Bu projenin ülkemizdeki ince film kaplama konusunda araştırma yapan kişi ve kuruluşlara ulaşılabilecek cihazlar ve ilgili kurumları tanımak anlamında, ayrıca uygulamada çıkabilen aksaklıklar çerçevesinde yararlı olacağı ifade edilebilir.

Projemizin okulumuzdaki bizden sonraki birçok öğrenci grubu tarafından daha birçok projeye rehberlik edeceğini ve filtremizi kullanarak yeni projeler üretilebileceğini düşünmekteyiz.

Filtre ile yapılabilecek tüm çalışmalar bizler için gerçekten yepyeni projeler ve birçok öğrenecek konuya açılan yeni pencereler olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Macleod, H. A., (1969), Thin Film Optical Filters, Adam Hilger Ltd., London
- [2] Jenkins, F. A., White H: E., (1976), Fundamentals Of Optics, Fourth Edition, McGraw-Hill, California
- [3] Knittl, Z.,(1976), Optic Of Thin Films, John Wiley&Sons, London
- [4] Meade Instrument, 1999-2000 General Catalog, Meade Instruments Corporation, California
- [5] Shimadzu UV 2101/3101 PC spektrofotometre kullanım kılavuzu
- [6] <http://www.pgo-online.com>