

## PMMA기판에 CeO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub>를 코팅하여 제작한 적외선 차단필터

유연석<sup>†</sup> · 최상석

청주대학교 레이저 광정보공학과  
Ⓣ 360-764 충북 청주시 상당구 내덕동 36

(2005년 8월 23일 받음, 2006년 10월 25일 수정본 받음)

일반적으로 모바일 폰용 적외선 차단 필터는 유리기판위에 300°C 이상의 고온에서 코팅된다. 본 연구에서는 PMMA(Poly methyl methacrylate)기판에 저온에서 CeO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub>를 사용하여 적외선 차단 필터를 코팅하였다. 저온 코팅된 필터의 접촉각을 측정하여 박막의 부착상태를 시험하였고, 적외선 차단 필터에 대한 시험 및 설계 결과를 모바일 폰용 광학계 개선에 적용하여 보았다.

주제어 : IR Cut-off Filter, Surface Energy, 저온코팅, PMMA.

### I. 서 론

최근에 반도체 산업의 급속한 성장, 그리고 대용량 광파이버통신의 발달, 레이저, 광센서 등의 기술이 크게 발전하면서 고품질의 박막을 증착하기 위한 기술들이 개발되고 있다. 특히 휘거나 구부릴 수 있는<sup>[1]</sup> 유연한(flexible) 플라스틱은 무게가 가볍고, 다루기가 쉬우며, 충격에 영향이 적고, 가격이 저렴하기 때문에 그 적용 범위는 확대 되어 가고 있다.<sup>[2]</sup> 그러나 기존의 유리기판을 기초로 한 고온 박막 코팅 공정을 적용하기에는 열에 대한 저항력이 약하고 수분이나 산소와 같은 기체 분자들이 플라스틱 기판을 투과하여<sup>[3,4]</sup> 소자의 수명을 단축시키게 되는 단점들로 인해 아직도 많은 부족함이 드러나고 있다. 열과 수분에 의한 기판의 변형을 막기 위해서는 기판의 특성 및 종류, 코팅물질에 따라 다르지만 플라스틱을 기판으로 사용할 경우 대부분 100°C 이하의 저온에서 모든 공정이 이루어져야하며, 기판 변형에 큰 영향을 미치는 증착 막의 Stress나<sup>[5]</sup> 기판자체의 결함인 Micro-hole<sup>[6-7]</sup> 또한 낮은 조건으로 설정하여야 한다.<sup>[8]</sup>

최근 모바일 폰은 생활필수품으로 보편화됨에 따라 모바일 폰은 소형화, 경량화, 슬림화 되고 있지만, 영상기록은 더욱 확대 강화되는 추세이다. 따라서 광학계의 성능향상과 함께 광소자의 개선이 요구된다. 일반적으로 모바일 폰 광학계에서는 플라스틱 렌즈와 적외선 차단 필터가 분리되어 있는데 Micron사 모델명 MT9M011 등 본 연구에서는 유리 기판에 고온 코팅을 하던 적외선 차단 필터를 플라스틱렌즈에 저온 코팅함으로써 사용되는 광학소자수들을 감소시킬 수 있게 되고 광학계도 단순화 될 수 있어 원가 절감과 경량화를 동시에 달성할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 PMMA기판 CeO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub>의 저온 코팅하는 경우에 대한 각각의 최적의 조건을 도출한 뒤 이를 바탕으로 IR-Cut off Filter를 제작하

였다. 즉, 기판의 표면형태와 투과율 및 반사율에 따른 특성을 분석하여 열에 대한 결함을 최소화 하였고 PMMA기판의 표면에너지를 구하여 기판표면과 박막의 결합력을 측정하였으며, 박막 증착율과 진공도, 기판의 세정 시간, 증착 과정의 온도 등과 같은 변수를 고려하여 PVD(Physical Vapor Deposition)증착 방법에 의한 진공증착<sup>[10]</sup>법을 사용하여 플라스틱 기판위에 적외선 차단 필터 코팅을 하고 이를 모바일 폰 설계에 적용하여 보았다.

### II. 이 론

#### 2.1 적외선 차단필터의 설계

적외선 차단필터는 투과 파장 대역이 짧은 파장 대에 있는 Short wave pass(SWP) edge filter가 된다. 고굴절률 박막과 저굴절률 박막을 교대로 쌓은 광학 박막들은 규칙적인 투과 대역과 차단 대역을 나타내는데 Edge filter의 설계는 투과 대역을 주변에 나타나는 2차 반사 대역들을 소거하여 투과 대역으로부터 차단 대역으로의 전이가 계단형으로 변화 될 수 있게 하고 투과대역과 차단대역을 확장할 수 있도록 하는데 있다. Edge filter는 등가층을 사용하여 설계 할 수 있는데 이 경우에는 우선 두 가지 물질로 구성된 3층 박막계를 사용하여 이의 등가층을 원하는 투과 대역과 차단 대역의 계단이 형성될 때까지 반복하여 다층을 구성한다. 이 등가박막과 입사매질이 정합될 수 있도록 무반사 박막계를 추가하여 정합시키는 순서로 다층막을 설계한다. 다층막은 1/4 λ층을 기본으로 하여 설계할 수 있으므로 이 구조로부터 근사적인 차단 대역의 범위와 위치를 찾을 수 있다. 또한 고굴절률 박막 H와 저굴절률 박막 L로 구성된  $(\frac{H}{2} L \frac{H}{2})^P$  구조의 반사스펙트럼에는 P값이 클수록 이 값은 증가되며 반사도가 최대인 위치에서의 등가 굴절률에 따라 2차 반사 피크의 최대 크기가 결정된다. 이 피크를 소거하는 가장 간단한 방법은 등

<sup>†</sup> E-mail: yuys@cju.ac.kr

가층 일부가 edge 밖에서 무반사 기능을 갖도록 하는 것이다.<sup>[11-16]</sup>

일반적인 모바일 폰 용 광학계에서는 플라스틱 계열의 소재로 사출한 렌즈와 유리기판에 코팅된 적외선 차단 필터 그리고 CCD소자로 구성된다. 적외선 차단 필터를 렌즈계와 CCD사이에 위치시켜 CCD에 입사되는 적외선 파장의 성분들을 차단하게 된다. 유리를 기판으로 하여 설계 및 코팅되는 적외선 차단 필터는 300°C이상의 고온에서도 코팅이 가능하므로 TiO<sub>2</sub>나 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>등과 같은 고온 박막공정을 사용하는 고굴절률 물질들을 사용할 수 있다.

여기서는 제안된 방식인 유리기판을 제거하고 플라스틱 소재 렌즈에 직접 적외선 차단 필터를 코팅하는 구조에 따라 저온(<100°C)에서 플라스틱(PMMA : Poly Methyl Meta Acrylate)에 적외선 차단 필터를 코팅하고자 고굴절률물질로 CeO<sub>2</sub>와 저굴절률 물질로 SiO<sub>2</sub>를 선택하였다. 이 두 가지 물질은 저온(<100°C)에서 PMMA기판에 각각 단층 코팅하여 굴절률을 구하여 적외선 차단 필터 설계에 적용하였다.

**2.2 접촉각을 사용한 표면에너지 측정**

고체 표면이 물을 튕긴다든가 물에 잘 젖는 현상은 폴리머 재료뿐만 아니라 금속과 세라믹에 있어서도 표면의 성질을 나타내는 매우 중요한 인자이다. 임의의 액체로부터 젖음을 정량적으로 나타내는 양으로 사용되는 것이 접촉각이다. 또한 접촉각은 접착(adhesion), 표면처리, 폴리머 표면 분석과 같은 많은 분야에서 사용되는 분석기술이다.<sup>[12]</sup>

본 실험에서는 Girifalco-Good-Fowkers-Young 모델을 적용하였다.<sup>[13-15]</sup> 플라스틱 기판의 표면에너지는 액체와 달리 점성과 탄성을 가지고 있어 직접 측정할 수 없기 때문에 알고 있는 액체의 표면에너지 값을 이용하여 간접적으로 산출하게 된다. Young의 평형상태관계식을 사용하여 고체와 기체표면사이의 표면에너지  $\gamma_{SV}$ 와 고체와 액체사이의 표면에너지  $\gamma_{LV}$ , 고체와 액체계면사이의 흡착 자유에너지를  $\pi$ 라 하면

$$\gamma_{SV} = \frac{\gamma_{LV}(1+\cos\theta)^2}{4\pi^2} \tag{1}$$

으로 주어진다. 여기서  $\theta$ 는 접촉각으로써 고체표면의 젖음을 나타내는 척도이다. 따라서 알고 있는  $\gamma_{LV}$ 값을 사용하고 기판면과 코팅된 표면에 증류수 물방울을 점적시켜 물방울이 퍼지는 접촉각을 측정하여 표면에너지를 구했다. 식 1을 통해 알 수 있듯이 폴리머의 표면에너지 ( $\gamma_{SV}$ )가 크면  $\cos\theta$ 가 커져 접촉각은 작게 되고, 폴리머의 표면에너지 ( $\gamma_{SV}$ )가 작으면  $\cos\theta$ 가 작아져 접촉각은 크게 된다. 표면에너지는 두 표면 간에 인력을 의미하기 때문에 박막이 얼마나 폴리머 기판에 잘 붙는가의 여부도 알 수 있게 된다. 여기서는 SEO 회사의 모델 SEO 300A 동적 접촉각 시험기를 사용하였으며, 표면에너지가 72, 75N/m인 증류수를 사용하여 상온인

25°C에서 측정액인 증류수에 한 시료당 2초동안 노출시켰다. 증류수 물방울의 크기는 최대 1mm를 넘지 않도록 하여 저온(<100°C)에서 코팅된 CeO<sub>2</sub>박막과 SiO<sub>2</sub>박막에서 코팅조건들에 따른 접촉각을 측정하여 표면에너지를 구하고 박막의 견고성과 부착특성을 시험하였다.

**III. 실험결과 및 모의 실험**

본 실험에 사용된 시편의 두께는 300 $\mu$ m의 PMMA 재질로서, 기판 세정은 챔버안에 넣기 전에 증류수를 사용하여 초음파 세정을 수행하였으며, 이와 같은 전처리 결과를 분석하기 위해 초음파 세정시간과 각기 다른 온도에 대하여 PMMA의 투과율, 굴절률 및 접촉각 테스트를 실시하였다. 또한 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>를 각기 다른 기판온도로 기준파장 540nm에서  $\lambda/4$ 파장 광학 두께로 증착하였을 경우 그에 따른 접촉각 테스트를 통하여 최적의 기판온도를 산출하였으며, PMMA기판에 증착된 박막 물질들의 특성을 알아보기 위해 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>를 각기 다른 증착률로 기준파장 540nm에서  $\lambda/4$ 파장 광학 두께로 증착하여 유리기판에 기판온도 250°C로 설정한 후 같은 증착 조건으로 박막을 증착한 투과율그래프와 비교하여 근접한 결과를 나타내는 증착률을 구하였다. 이외에도 산출된 기판온도와 증착률을 바탕으로 본 실험에 사용한 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>의 광학적 특성을 분석하기 위해 단층박막을 코팅하여 굴절률을 산출하였으며, 이와 같은 조건을 고려하여 IR Cut-off Filter를 제작한 후 렌즈설계 프로그램인 Code-V를 통해 모의실험을 하였다.

본 모든 실험에서는 PMMA의 열변형온도(HDT)인 85°C와 유리전이 온도(T<sub>g</sub>) 108°C를 고려하여 고에너지가 집적된 Electron-Beam을 재료에 직접 조사하는 과정에 따른 온도상승 오차인 +10°C를 감안한 기판 온도변수 25°C, 40°C, 55°C, 70°C, 85°C, 100°C로 설정하여 실험을 수행하였으며, 진공도는 Electron-beam의 사용 가능한 진공도를 고려하여 5 $\times$ 10<sup>-5</sup> Torr로 고정시키고 Crystal heath는 98%에서 실험을 진행하였다.

그 결과 본 실험에서 사용한 PMMA기판의 세정시간에 따른 광학적 특성을 분석하기 위해 세정시간을 2min, 4min, 6min, 8min, 10min으로 나누어 세정했을 경우 그림 1과 같이 투과율이 측정되었다. 투과율은 UV-Vis 3501 Spectro Photometer(Hitachi 회사제품)로 측정하였으며 측정결과 세정시간이 2분인 경우의 투과율이 가장 낮았고 4분, 6분, 8분에서는 오차범위 내에서 비슷한 투과율을 나타내었다. 이 결과에 따라 여기서는 시료기판들을 6분 동안 초음파세정을 하여 사용하였다.

또한 PMMA기판의 내열성을 확인하기 위해 각각 온도 변수를 25°C, 40°C, 55°C, 70°C, 85°C, 100°C, 120°C로 설정하여 표면에너지를 측정한 결과 그림 2에 나타난 것과 같이 기판 온도가 증가할수록 표면에너지도 증가하는 경향을 나타내었으나, 그림 3~그림 5에서 보여지는 것처럼 기판의 열

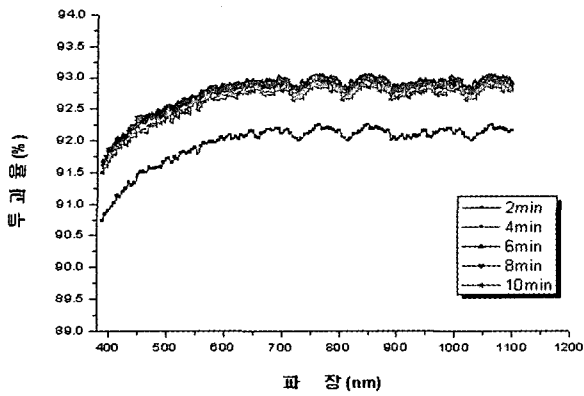


그림 1. 세정시간에 따른 PMMA의 투과율.

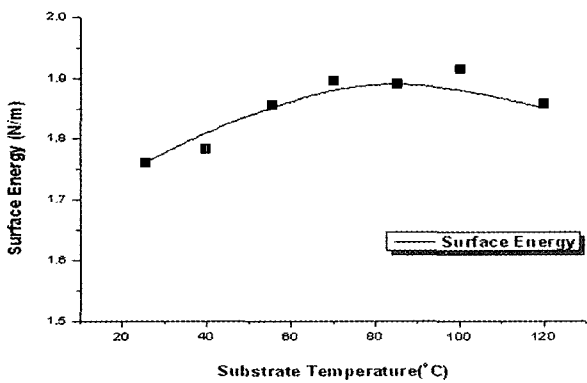


그림 2. 열처리 온도에 따른 PMMA기판의 표면에너지의 평균값 (1.61 < S<sub>x</sub> > 1.98).

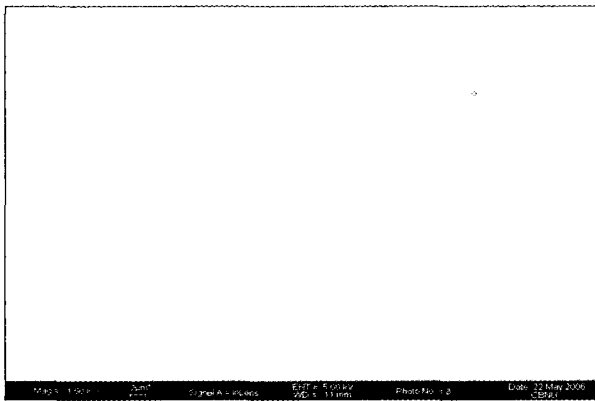


그림 3. 70°C에서 120분동안 열처리한PMMA표면.

변형 온도(HDT) 85°C와 유리전이 온도(Tg)인 108°C를 초과한 박막표면에서는 기판의 손상과 변형이 확인됨과 동시에 투과율과 굴절률의 큰 차이를 보임에 따라 기판온도를 70°C 이하로 유지함과 동시에 70°C이하의 표면에너지값만을 사용하였다.

PMMA기판에 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>를 단층 또는 다층으로 코팅하기 위하여 E-beam(Telemark 회사제품 Model 860)을 사용하였다. 진공챔버의 온도는 할로젠 램프로 자동조절하였고, 기초 진공은 Turbomolecular Pump(Alcatel 회사제품)를 사용하



그림 4. 100°C에서 120분동안 열처리한 PMMA 표면.

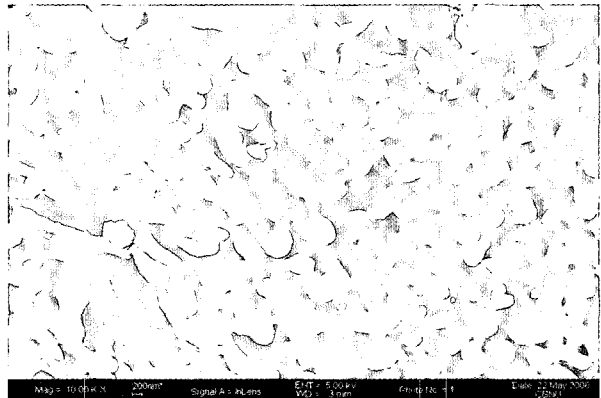


그림 5. 120°C에서 120분동안 열처리한 PMMA 표면.

여 5×10<sup>-5</sup>torr로 사용하였으며 CeO<sub>2</sub>의 경우는 산소 주입시 9×10<sup>-5</sup>torr 이내로 진공도를 유지하였다.진공증착시 박막의 두께 및 성장률은 Crystal thickness monitor(Telemark 회사제품 Model 1)를 사용하여 측정하였다. 코팅된 박막의 기계적 특성 즉 부착상태와 견고성은 동적 접촉각측정기를 사용하여 구한 표면에너지 값으로 측정하였다. SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>단층 박막의 굴절률들은 Essential Macleod 프로그램을 사용하여 계산하였다.

또한 PMMA기판에 각각의 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>를 기준파장 540nm에서 λ/4파장 광학 두께로 박막 증착하여 표면에너지를 측정된 결과 그림 (6)에서와 같이 PMMA기판에 박막을 증착하지 않았을 경우와 비슷한 양상으로 온도가 증가할수록 낮은 접촉각이 측정됨에 따라 기판의 변형과 손상이 발견된 기판온도 85°C, 100°C, 120°C를 제외한 기판온도 25°C, 40°C, 55°C, 70°C 중 70°C에서 가장 높은 표면에너지값이 측정됨으로서 기판온도를 70°C 이하로 하여 필터코팅을 시도하였다.

각각의 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>를 각각 증착하는 과정에서 증착률의 변화에 따른 투과율은 측정된 실험에서는 그림 7~그림 8과 같이 증착률을 1nm/sec로 증착하였을 때의 결과가 유리기판에 기판온도 250°C에서 박막 증착한 투과율 값과 근접한 결과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 최적의 조건만을 고려하여

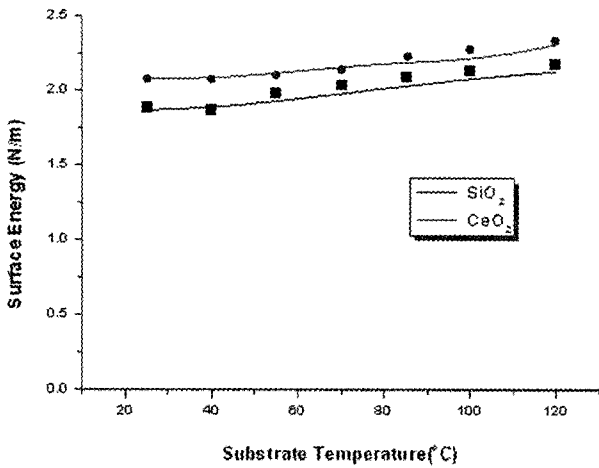


그림 6. 기준파장 540nm에서 PMMA기판에 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>  $\frac{\lambda}{4}$  파장 광학 두께 증착시 기판온도에 따른 표면에너지의 평균값(1.89 < S<sup>x</sup> > 2.54).

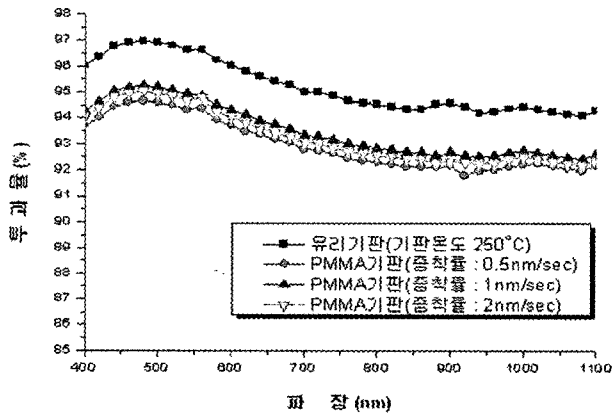


그림 7. PMMA기판에 SiO<sub>2</sub>를 기판온도 70°C에서 증착 시 서로 다른 증착률에 따른 투과율.

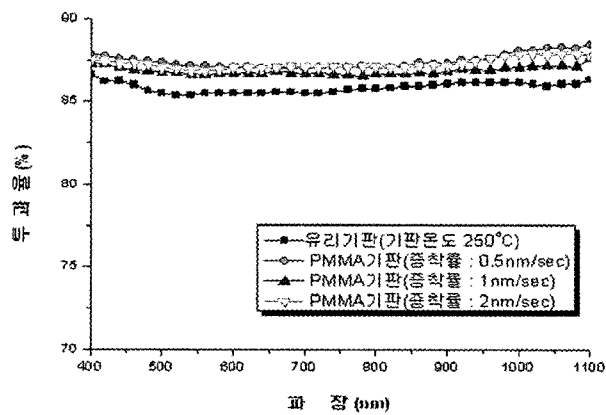


그림 8. PMMA기판에 CeO<sub>2</sub>를 기판온도 70°C로 증착 시 서로 다른 증착률에 따른 투과율.

SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>단층박막의 광학적 특성은 그림 9와 그림 10에서 보여지는 것처럼 여러 문헌상에 나타난 굴절률 값과 비슷한 굴절률 값을 얻을 수 있었다.<sup>[17,18]</sup>

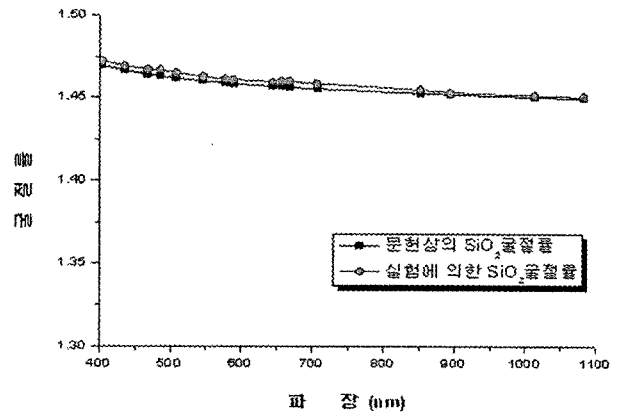


그림 9. PMMA기판에 기판온도 70°C에서 SiO<sub>2</sub> 박막증착에 의해 측정된 굴절률.

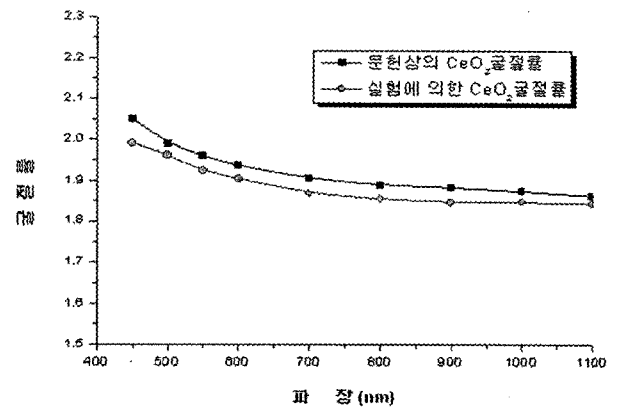


그림 10. PMMA기판에 기판온도 70°C에서 CeO<sub>2</sub> 박막증착에 의해 측정된 굴절률.

따라서 단층박막을 통하여 측정된 SiO<sub>2</sub>와 CeO<sub>2</sub>의 굴절률을 사용하여 적외선 차단 필터를 다음과 같이 설계하였다.

$$[\text{Air}(0.6254\text{L}|1.18698\text{H}|(1.18698\text{L}|1.18698\text{H})^3)|1.11168\text{L}|(\text{HL})^3|1.25718\text{H}|[\text{PMMA}]$$

지금까지 박막 증착이 이루어지지 않은 PMMA기판의 세정과 열에 대한 특성 및 기판온도에 따른 표면에너지측정을 통한 분석, PMMA기판에 박막 증착 시 그에 따른 변수로서 증착률, 기판온도에 따른 표면에너지, 실험에 쓰인 물질의 굴절률 산출을 통하여 기판온도 70°C에서 유리기판과 가장 근접한 변수들만을 산출하여 이를 토대로 그림 11과 같이 IR Cut-off Filter 다층박막을 설계 및 제작하였다.

설계된 IR Cut-off Filter의 투과율을 보면 그림 12에서와 같이 근적외선 영역의 파장을 20%이상 차단시키고 있지 못한 것을 확인할 수 있는데, 이는 PMMA기판이 열에 대한 저항력의 약화로 일반적으로 사용되고 있는 적외선 차단필터 설계 층인 35~50Layer를 증착하는 과정에서 장시간 증착 공정에 따른 지속적인 열에 견딜 수 없기 때문에 최소한의 저층으로 설계해야 했으며, 설계상에서 적외선 차단필터의

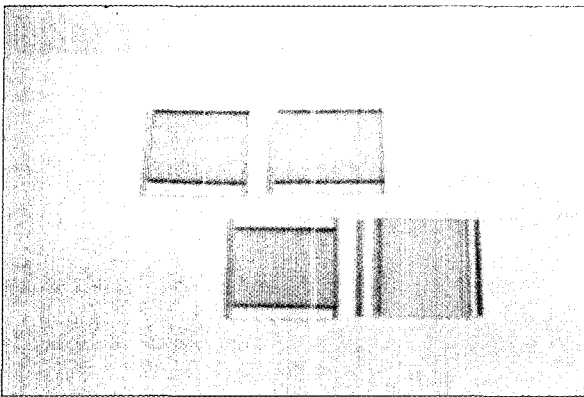


그림 11. PMMA기판을 사용하여 제작된 적외선 차단 필터.

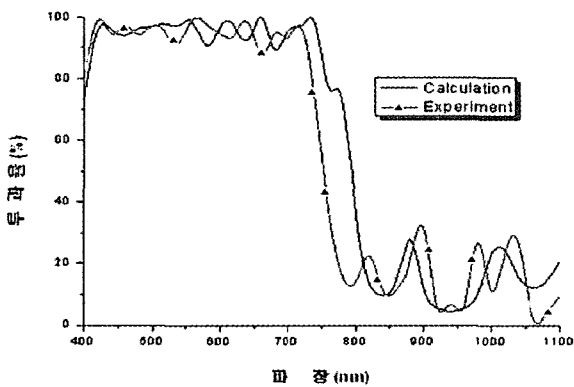


그림 12. 제작된 적외선 차단 필터의 투과율.

제작에 흔히 사용되어지고 있는  $TiO_2$ 와  $SiO_2$ 의 굴절률은 각각 2.3240, 1.461로서 굴절률의 차이가 크기 때문에 유연성 있는 설계를 할 수 있으나, 본 실험에 사용된  $SiO_2$ 와  $CeO_2$ 의 굴절률은 540nm파장에서 진공챔버조건, 전자빔, 진공도, 증착률 등의 서로 다른 조건에 의해 각각 1.483, 1.971의 작은 굴절률 차이를 보임에 따라 설계 시 한정된 저층으로 높은 효율을 기대하기 어려웠다. 또한 PMMA기판에 증착된 박막의 총 두께가 얇게 증착됨으로서 제작된 필터의 투과율이 단파장 쪽으로 이동된 경향과 PMMA기판의 낮은 밀도로 인한 수분투과, 보관에 따른 스크래치, 본래 기판이 가지고 있는 결함 등에 따라 광학적 특성의 변화로 인해 최적화를 통해 설계된 IR Cut-off Filter의 투과율과는 다소 차이를 보였으나 장파장의 차단효율은 만족하는 값에 도달한 것으로 판단된다.

표 1은 제작된 IR Cut-off Filter의 표면에너지 값을 나타내고 있는데, 측정된 값을 살펴보면 Glass에 비해 현저히 낮은 값으로서 온도에 따른 표면형태, 박막의 흡수 및 증착된 챔버조건에 따라 다르지만 대부분의 물질에 일반적으로 적용되는  $t=1/\theta$ 과  $T=A$ 에 부합한 결과인 동시에 70°C의 기판온도에서 플라스틱 기판과 박막과의 결합력 증가의 원인도 배제할 수 없으며, 이에 따라 플라스틱 기판상의 IR Cut-off Filter의 박막 증착 가능성을 확인할 수 있었다. 여기서  $t$ 는

표 1. 70°C에서 제작된 IR Cut-off Filter의 표면에너지

	Filter I	Filter II	Filter III	Filter IV
접촉각 ( $\theta$ )	70.10	70.29	70.84	69.23
표면에너지 (n/m)	3.31	3.30	3.25	3.38

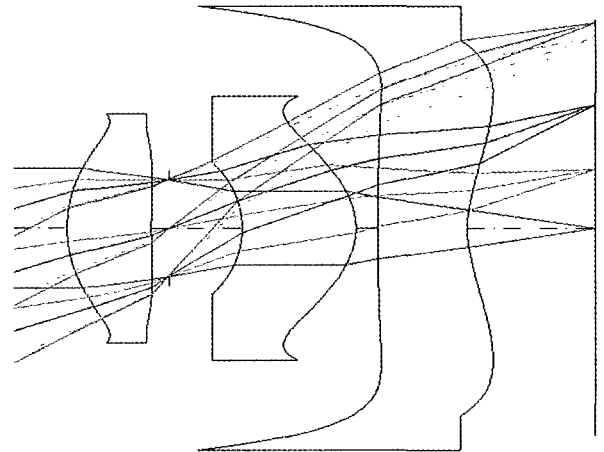


그림 13. 설계된 Mobile Phone광학계.

PMMA기판의 일정한 온도에 따른 노출시간,  $\theta$ 는 접촉각,  $T$ 는 증착된 박막의 총 두께,  $A$ 는 증착된 박막의 흡수를 의미한다.

이와 같이 제작된 IR Cut-off Filter의 설계 데이터를 렌즈 설계 프로그램을 이용하여 모의실험을 한 결과 별다른 차이점을 발견하지 못했다. 그 이유는 박막의 두께는 일반적으로 수십~수백 nm단위로 두께가 얇기 때문에 마치 파워가 Zero인 렌즈처럼 작용하며, 렌즈의 경우 곡률이 있긴 하지만 거의 수직으로 입사하기 때문에 코팅으로 인한 위상변화는 무시될 만큼 작기 때문이다. 그러나 온도 변화 시  $10^{-4}$ 정도의 미세한 오차가 확인됐지만 이 또한 전체적인 광학시스템에는 별다른 영향을 주지 못했다. 따라서 본 논문에서는 온도에 따른 광학시스템의 변화만을 고려하였다. 그림 13은 설계된 모바일 폰 광학계를 나타내고 있으며, 표 2는 Code-V 프로그램으로 설계한 모바일 폰 광학계의 설계 데이터이다. 표 3은 설계된 데이터를 Code-V로 전산 모사한 결과로서 모바일 폰 광학계의 제원과 온도변화에 따른 광학적 성능의 변화를 나타내고 있다.

#### IV. 결 론

E-beam으로  $SiO_2$ 와  $CeO_2$ 를 PMMA기판에 저온 진공증착을 수행하였다. 실험결과 PMMA기판의 열적 변형 특성으로 인해 70°C 이하의 저온에서 코팅해야 됨을 알 수 있었고 동적접촉각 시험기를 사용하여 70°C 이하에서 코팅된  $SiO_2$ 와  $CeO_2$ 의 접촉각을 측정하고 그로부터 표면에너지를 측정한다

표 2. 모바일 폰 광학계의 설계데이터

Surface	Surface Name	Surface Type	Y-Radius	Thickness	Glass	Refract Mode	Y Semi-Aperture
Object		Sphere	Infinity	Infinity		Refract	
1		Asphere	2.0836	0.9888	PMMA	Refract	1.2939
2		Asphere	22.7194	0.2147		Refract	0.9470
Stop		Sphere	Infinity	0.8509		Refract	0.6949
4		Asphere	-1.5679	1.3374	PMMA	Refract	0.9542
5		Asphere	-1.1791	0.2512		Refract	1.5211
6		Asphere	15.4148	1.0563	PMMA	Refract	2.2254
7		Asphere	1.9493	1.5000		Refract	2.6903
Image		Sphere	Infinity	0.0000		Refract	2.9869

표 3. 설계된 Mobile Phone 광학계의 온도변화 특성

	EFL	BFL	FFL	F/N	OAL	FOV
20oC	4.78mm	1.5mm	-4.6949mm	2.8	4.6994	32o
70oC	4.7793mm	1.4994mm	-4.6940mm	—	—	—
Δ	7×10 <sup>-4</sup>	6×10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-4</sup>	—	—	—

결과 SiO<sub>2</sub>는 약 1.98n/m, CeO<sub>2</sub>는 2.18n/m로 측정되었다. 이 두 가지 물질을 사용하여 모바일 폰광학계에 적용하기 위한 적외선 차단 필터를 설계하고 제작하여 그 특성을 분석했다. PMMA 기판온도 70°C, 1nm/sec의 증착율로 코팅된 적외선 차단 필터의 표면에너지값은 약 3.3n/m로 측정되어 순수 유리기판만의 값보다 높게 측정 되었다. 이 결과들을 볼 때 일반적으로 사용되는 고온 유리기판에 코팅되는 적외선 차단 필터를 PMMA기판에 저온 코팅으로 제작하여 대체 할 수 있음을 알 수 있다. 이 결과가 모바일 광학계의 성능에 미치는 영향을 평가해보기 위해 Code-V프로그램을 사용하여 PMMA소재로 모바일 폰 광학계를 설계하고 적외선 차단 필터를 PMMA소재로 설계된 렌즈에 적용하여 전산 모사하여 그 성능을 확인하였다.

제작된 IR Cut-off Filter의 설계 데이터를 렌즈 설계 프로그램에 대입하여 각각의 렌즈면에 대하여 코팅을 적용한 결과 박막의 얇은 두께로 인해 별다른 차이점을 확인하지 못했으며, 온도에 따른 유효초점거리(effective focal length)와 후 초점 거리(back focal length), 앞초점거리(front focal length)의 변화에서도 10<sup>-4</sup>의 오차를 보임에 따라 전체적인 광학시스템에는 영향을 주지 않음을 확인하였다. 따라서 유리기판에 코팅된 적외선 차단 필터를 추가로 사용하지 않고 PMMA 렌즈면에 직접 저온 코팅하여 사용하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] D. P. Gosain, T. Noguchi, S. Usui, Japanese Journal of Applied Physies. Part2. 39(3A-B), L 179-81(2000).

[2] Cheng-chung Lee and Jin-Cherng Hsu, "Optical coatings on polymethyl methacrylate and polycarbonate", Thin Sold Films, 295, 122-124(1997).

[3] M. Walker, K. M. Baumgartner, J. Feichtinger, M. Kaiser, A. Schulz, and E. Rauchle, Vacuum, (2000).

[4] D. Hegermann, U. Vohrer, C. Oehr. and R. Riedel, Surf. Coat. Technol., (1999).

[5] B. M. Henry, A. G. Erlat, C. R. M. Grovenor, and G. A. D. Brigg, "Gas Permeation studies of Metal Oxide/Polymer Composite Films", 45th manual Technical Conference, (2002).

[6] D. Scharnhost, Surf. Sci., 15(1969).

[7] M. L. Gimpl, A. D. Master and N. Fuschillo, "Amorphous Oxide Layers on Gold and Nickel. Films observed by Electron Microscopy", J. Appl. Phys, 35(1964).

[8] 최시영 · · · · · 박막공학의 기초 일진사(2003).

[9] G. Pan, D. J. Mapps, K. J. Kirk and J. N. Chapman : IEEE Tran, Magn, 33(1997).

[10] H.Angus Macleod, "Thin film optical filter", 3rd Ed., pp. 210-256, Iop,(2001).

[11] 황보창권, "박막광학", pp 103-109, 다성출판사(2000).

[12] R. E. Johnson, R. H. Dettre, "Wettability", edited by H. C. Berg(Marcel Decker, In., New York), pp. 2-73.

[13] A. Adamson, "Physical Chemistry of Surfaces", 6th ed, (John Wiley & Sons, inc., New York, 1997), pp. 347-389

[14] F. M. Fowkes, "Attractive Forces at Interfaces", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 56, No. 12, Dec, 1964, pp. 40-52.

[15] Kuixiang Ma, Tai-Shung Chung, Robert, J. Good, "Surface

- Energy of Thermotropic Liquid Crystalline Polyesters and Polyesteramide”, *Journal of Polymer Science : Part, B: Polymer Physics.*, 1998, Vol. 36, pp. 2327-2337.
- [16] Essential Macleod : Thin-Fine Design Software.
- [17] G. Atanassov, R. Thielsh, D.Popov, “Optical properties of TiO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CeO<sub>2</sub> thin films deposited by electron beam evaporation”, *Thin Solid Films*, 223, 288-292(1993).
- [18] K. Narasimha Rao, L.shivlingappa, S. Mohan, “studies on single layer CeO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> films deposited by rotating crucible electron beam evaporation”, *Materials Science and Engineering B98*, pp. 38-44(2003).

### IR Cut-off Filter Made of CeO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> Thin Films Coated on PMMA Substrate

Yeon Serk Yu<sup>†</sup> and Sang Serk Choi

*Department of Laser and Optical Information Engineering, Chonnam University, Cheongju 360-764, KOREA*

<sup>†</sup>*E-mail: yuys@cju.ac.kr*

(Received May 3, 2006, Revised manuscript August 8, 2006)

Generally, IR cut-off filters for mobile phone is coated on the glass substrate at high temperature(above 300°C). In this work, we prepared IR cut-off filters on the poly(methyl methacrylate)(PMMA) substrates at low temperature(about 70°C). using the CeO<sub>2</sub> and SiO<sub>2</sub> coatings by physical vapor deposition. The surface energies of coated and uncoated PMMA, and adhesive properties of IR cut-off filters coatings were examined using contact angle measurements. We demonstrate the improve of mobile phone optical system using these results.

OCIS code : 310.0310, 310.1620, 310.6860.