

Al 기판 위에 증착한 PLS용 반사판의 특성

구원희, 정순문, 백홍구
연세대학교 금속시스템공학과 정보표시재료연구소

Properties of PLS reflector deposited on Al substrate

Won Hoe Koo, Soon Moon Jeoung, Hong Koo Baik
Information · Display Material Lab. Metallurgical · system Engineering, Yonsei University

Abstract

PLS에 사용되는 반사판의 반사율과 300도의 열적 안정성을 높이기 위해 두 층의 투명 산화막이 Al기판위에 증착된 Al 필름 위에 증착되었다. 광학적 고려를 위해 낮은 굴절률은 가진 SiO₂와 치밀하고 높은 굴절률을 가진 SiO₂-CeO₂ 복합 산화물이 IAD 방법에 의해 증착되었다. 복합 산화물의 조성에 따른 굴절률 변화로부터 보다 치밀한 구조를 갖는 조성이 결정되었으며 이와 더불어 엔드홀 이온 소스에 의한 조사를 통해 Al 필름 보다 높은 반사율과 열적 안정성을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

PLS(Plasma Lighting System)은 고주파 발전기인 마그네트론에서 발생된 고주파로 금속전자가 이온화 되면서 빛을 발산하는 장치로 전극 없이 뛰어난 광량을 제공할 수 있기에 차세대 램프로써 각광을 받고 있다. 하지만 PLS의 효율과 빛의 복사열 전달에 의한 300도 이상의 고열은 반사판의 열화 현상을 일으키며 PLS의 장시간 사용을 제한한다. 일반적으로 반사판으로 쓰이는 Al은 저밀도, 높은 열전도도 및 고반사의 특성으로 인해 널리 사용되어 왔으나 PLS에서 발생하는 열에 의한 산화와 그로 인한 반사율 급감, 그리고 시스템 on/off에 따른 Al과 반사판사이의 열팽창 계수 차이에 기인한 열적 응력 때문에 peeling-off 현상을 야기하고 있어 알루미늄 위에 보호막이 요구되고 있는 실정이다. 보호막으로 사용될 수 있는 물질은 가시광 영역에서의 높은 투과도와 높은 내열성을 지녀야 하고 일반적으로 사용되는 보호막으로는 SiO₂, Si₃N₄, TiO₂, ZrO₂, CeO₂ 등이 있다. 이러한 물질들은 상온 증착 시 비정질 구조를 나타내고 망목 형성자의 SiO₂를 제외한 나머지 산화물들은 열처리에 따라 쉽게 결정상으로 상전이를 한다[1]. 이 때 상전이에 따른 격자 팽창이나 수축은 박막 내 응력을 발생해 peeling-off현상을 촉진하고 생성된 결정상의 입체는 수증기 및 산소의 확산 경로로써 작용해 알루미늄의 산화를 일으키게 된다. 또한 비정질에서 결정상로의 상전이는 표면 거칠기를 크게 증가시켜 반사율을 떨어뜨린다 [1]. 높은 반사율을 획득하기 위해서는 고굴절률과 저굴절률 층의 두께 조절에 따른 증착이 필수적이기 때문에 300도의 고온에서 비정질 상을 유지하는 동시에 치밀한 구조의 고굴절률 보호막이 SiO₂와 함께 요구된다.

일반적으로 SiO₂를 포함하는 복합 산화물(SiO₂-CeO₂, ZrO₂, TiO₂...)은 특정 조건에서 높은 증진도와 굴절률을 보이고 높은 온도에서도 비정질 상을 유지하게 때문에 보호막으로써 요구되는 특성을 만족시켜 준다 [1,2,3].

또한 Ion Beam Assisted Deposition(IBAD)를 이용한 공정은 Ar⁺ 또는 Ar^{+/O⁻}에 의한 조사를 통해 증착 물질의 이동도를 높임으로써 ebeam 또는 thermal 공정보다 치밀한 구조의 박막을 얻을 수 있고 이온의 조사에 의한 층간 mixing 효과에 의해 높은 접착력을 얻을 수 있기에 PLS용 고반사 반사판 제조 방법에 가장 부합되

는 증착 공정이다[4].

본 실험에서는 실제로 PLS에 사용되는 Al 기판위에 치밀한 구조의 CeO₂-SiO₂ 복합 산화물과 증착 시 엔드홀 이온 소스에 의한 이온 빔 조사를 통해 높은 열적 안정성과 높은 반사율을 갖는 반사판을 얻고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험

Al 기판의 높은 표면 거칠기로 인해 그 위에 Al 및 반사판막을 증착하더라도 반사율 증가의 효과가 없는 75% 이하의 낮은 반사율을 보인다. 따라서 본 실험에서는 Al 기판을 polishing 공정을 통해 85~90%의 반사율을 갖도록 표면 거칠기를 낮추었으며 이 기판 위에 Al 필름과 반사판막을 증착하여, 반사율 증가 효과와 300도에서의 on/off에 따른 반사판의 열적안정성을 평가하고자 하였다. Al 기판 위에 Al 필름을 thermal evaporation에 의해 증착하였고, 보호막으로써 SiO₂ 및 CeO₂-SiO₂ 복합산화물을 엔드홀 이온 소스에 의한 IBAD 공정에 증착하였다. 다음 그림 1은 사용된 IBAD system의 모식도이다. 터보 펌프로 증착 전 1×10⁻⁶이 얻어졌고 작업 압력은 Ar/O₂ 각각 2 sccm 씩 혼합 가스가 사용되어 2×10⁻⁶을 유지하였다. CeO₂-SiO₂ e-beam 소스는 조성비로 섞은 후 압축기로 pellet 모양으로 제조 후 1450도에서 두 시간 열처리를 통해 만들어졌다. 증착 속도는 thickness monitor로부터 1Å/s 로 고정되었고 200 eV의 이온 에너지와 100uA의 이온 전류가 사용되었다. 물냉각된 기판과 엔드홀 이온 건과의 거리는 30cm로 고정되었고 박막 두께는 고반사율의 광학적 효과를 고려하여 Al, SiO₂, CeO₂-SiO₂ 각각 1000 Å, 1000 Å, 500 Å 두께로 증착되었다.

Si wafer 위에 증착된 산화물의 굴절률을 측정하기 위해 633nm의 파장을 사용하는 ellipsometer가 사용되었고 Al 기판 위에 증착된 반사판막의 반사율은 UV-visible spectroscopy(Shimadzu UV-3101PC)을 통해 측정되었다. 이때 reference로는 측정 장비의 Al 반사판이 사용되었기 때문에 측정된 반사판막의 반사율 값은 상대적으로만 비교가능하다. 열적 안정성 실험을 위해 RTA system (rapid thermal annealing)이 사용되었고 상업에서 5분 안에 300도까지 올린 후 30분 동안 유지하고 30분간 off 하는 작업이 24시간 동안 반복되었고 후에 반사율이 측정되었다.

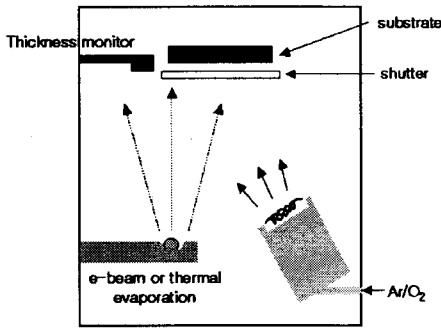


그림 1 Ion beam assisted deposition system

2.2 결과 및 고찰

2.2.1 복합 산화물의 광학적 특성

다음 그림 2는 IBAD에 의해 증착된 복합산화물의 조성에 따른 굴절률 변화를 나타낸다. SiO₂의 함량이 증가함에 따라 복합산화물의 굴절률이 20%~35%에서 최고치를 보임을 볼 수 있다. 일반적으로 박막의 층진도와 굴절률은 비례관계를 보이기 때문에 동일한 물질에서 굴절률이 높다는 것은 박막 내 pore나 void가 보다 적은 치밀한 구조를 의미한다. 그림 3의 AFM 결과로부터 35%의 SiO₂를 가진 복합산화물의 표면이 SiO₂나 CeO₂에 비해 상당히 매끄럽고 치밀하는 것을 알 수 있다. SiO₂와 CeO₂는 전형적인 granular 표면 구조를 가짐을 알 수 있고 각각의 grain 사이는 열화의 원인인 산소나 수증기의 투과 경로로써 작용할 수 있기 때문에 매우 조밀한 35%의 SiO₂를 가진 복합산화물이 보다 열화 현상을 억제 할 수 있을 것으로 기대된다.

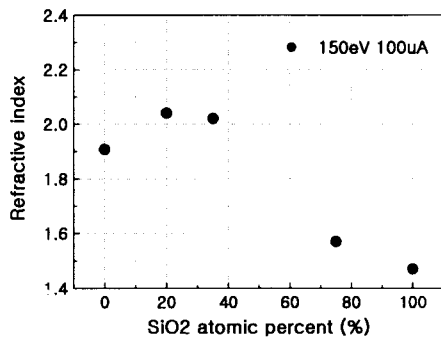
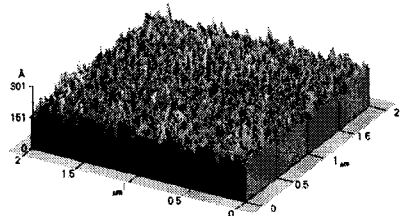
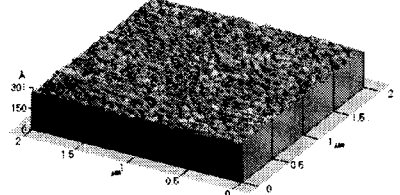


그림 2 SiO₂ 함량에 따른 복합산화물의 굴절률

고굴절률과 저굴절률의 조합을 통해 반사율을 증가시킬 수 있다. SiO₂가 20% 포함된 복합산화물은 치밀한 구조와 높은 굴절률을 나타내기 때문에 SiO₂와 함께 Al 위에 증착 시 보다 높은 반사율을 얻을 수 있다. 그러나 그림 4에서 보듯이 Al 기판이 0.18um 정도의 표면 거칠기(RMS)를 보이기 때문에 위에 Al 필름과 반사판막을 증착하여도 반사율 증가의 효과가 없는 75% 이하의 낮은 반사율을 보이게 된다. 따라서 Al 기판위에 증착된 반사판의 반사율과 열적 안정성을 평가하기 위해 Al 기판을 polishing 공정을 통해 표면 거칠기를 제어한 후 반사판의 특성을 평가하였다. 반사판 광학적 효과를 고려하여 CeO₂-SiO₂(500Å)/SiO₂(1000Å)/Al(1000Å)/Al substrate 와 같이 제작되었다.

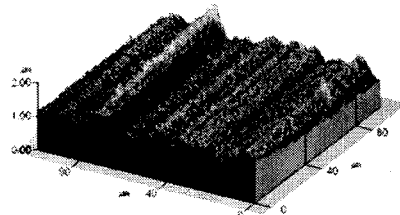


(a) CeO₂ rms:21.5 Å



(b) SiO₂ 35% rms:6.5 Å

그림 3 AFM images of (a) CeO₂ and (b) CeO₂-SiO₂(35%) on glass



(a) Al 기판 rms: 0.18 um

그림 4 AFM images of bare Al substrate

다음 그림 5는 가시광선 영역에서 측정된 반사판의 반사율을 나타낸다. 반사율 측정 시 reference로써 측정 장비의 Al 반사판이 사용되었기 때문에 Al 반사판의 보존 상태에 따라서 측정되는 반사판의 반사율 100%이상 가능하다. 그림 5에서 보듯이 Al 기판(a)는 75% 이하의 낮은 반사율과 함께 위에 증착된 Al 필름 및 반사판막에 의한 반사율 증가 효과가 거의 없었지만, polished Al 기판(c)은 약 95% 정도의 높은 반사율과 함께 Al 및 반사판막(d)의 증착에 의해 100% 이상의 보다 높은 반사율을 나타낸다. 대략 450 nm이하에서 반사율의 감소를 보이는 이유는 CeO₂에 의해 흡수가 일어나기 때문이다.

2.2.2 복합 산화물의 열적 안정성

그림 5는 또한 halogen lamp에 의해 가열되는 RTA system에서 300도씨 30분씩 24시간 on/off 실험 후 반사율을 측정한 Al/polished Al substrate와 CeO₂-SiO₂/SiO₂/Al/polished Al substrate의 결과를 보여 준다. Al 기판위에 Al 필름만이 증착되었을 때 24시간 on/off test에 의한 표면 산화로 반사율이 감소했음을 알 수 있다. 이와 반대로 Al 필름 위에 CeO₂-SiO₂/SiO₂가 증착된 경우는 치밀한 비정질 구조에 의해 열화의 원인인 산소 및 수분 투과가 효과적으로 억제됨으로써 반사율 감소가 일어나지 않았다. 오히려 반사율의 증가하였음을 알 수 있는데 이 이유로는 SiO₂의 첨가에 의해 결정화가 억제되는 복합산화물이 열처리에 의해 산화 상

태가 증가하여 굴절률이 증가하였기 때문에 판단된다 [1]. 따라서 비록 더 긴 시간에 걸친 내열성 실험이 뒤따라야 하겠지만, 24시간의 on/off 결과만 놓고 봤을 때 사용된 복합 산화물과 IAD 공정에 의한 증착은 치밀한 구조와 증가된 층간 접착력을 초래해 높은 열적 안정성을 나타냄을 알 수 있다.

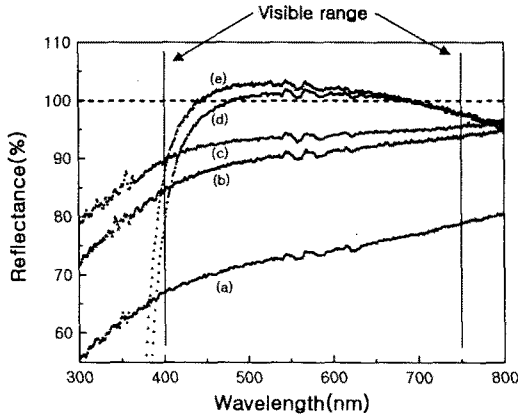


그림 5 Reflectance of (a) bare Al substrate, (b) polished Al substrate after on/off test, (c) polished Al substrate, (d) $\text{CeO}_2\text{-SiO}_2\text{/SiO}_2\text{/Al}$ /polished Al substrate and (e) $\text{CeO}_2\text{-SiO}_2\text{/SiO}_2\text{/Al}$ /polished Al substrate after on/off test

3. 결 론

높은 반사율과 내열성에 부합하는 반사판을 위해서는 치밀하고 굴절률을 이용한 보호막이 필요하다. 복합산화물과 IAD 공정은 박막의 기공도를 감소시켜 치밀한 구조를 갖는 보호막의 제조를 가능하게 하기 때문에 Al 위에 복합산화물과 함께 SiO_2 의 IAD에 의한 증착으로부터 높은 반사율과 높은 열적 안정성을 가지는 반사판을 만들 수 있다. 본 연구로부터 PLS에 사용되는 Al 기판 위에 Al 및 반사판막을 증착을 통해 100%의 높은 반사율을 얻을 수 있었고 on/off test 후에도 반사율 저하 같은 열화 현상은 관찰할 수 없었고 오히려 치밀한 비정질 산화막의 산화상태 증가에 기인하여 증가된 반사율을 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Shiu Chao, Wen-Hsu Wang, Min-Yu Hsu, Liang-Chu Wang, "Characteristics of ion-beam-sputtered high-refractive-index $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ mixed films", J. Opt. Soc. Am. A, 16(6), 1477, 1999
- [2] A. Feldman, E. N. Farabaugh, W. K. Haller, D. M. Sanders, R. A. Stempniak, "Modifying structure and properties of optical films by coevaporation", J. Vac. Sci. Technol. A, 4(6), 2969, 1986
- [3] A. Feldman, Xuangtong Ying, E. N. Farabaugh, "Optical properties of mixed yttria-silica films", Applied Optics, 28(24), 1986
- [4] S Mohan, M Ghanashyarm Krishna, "A review of ion beam assisted deposition of optical thin films", Vacuum, 46(7), 645, 1995