

Al₂O₃ 박막의 후처리 효과가 Laser-Induced Damage Threshold에 미치는 영향*

유연석 · 이성훈

청주대학교 광학공학과

(1997년 6월 2일 받음)

Al₂O₃ 박막의 후처리 효과가 laser induced damage threshold에 미치는 영향을 연구하였다. 시료의 증착 온도는 각각 100°C, 200°C, 300°C 및 350°C로 하여 제작하였고, Nd:YAG 레이저를 이용하여 LIDT를 측정하였다. 제작한 시료는 열처리와 레이저 conditioning으로 후처리한 후 LIDT의 변화를 측정하였는데, 일반적으로 증착 온도를 높게 하여 제작한 시료들에서 LIDT가 높게 측정되었다. 또한 열처리한 경우보다 레이저 conditioning으로 후처리한 경우에서 LIDT는 더 높게 측정되었다. XPS를 사용하여 후처리 전후 박막의 화학 구조적 특성을 측정하였다.

I. 서 론

근래에 이르러 고출력의 레이저를 사용하거나 응용하는 경우가 많아짐에 따라 레이저 출력 증가나 사용하는 광학소자들의 레이저에 의한 손상에 많은 관심을 갖게되었다. 그러나 무반사 박막계, 고 반사 박막계, 편광 박막계 등과 같은 박막을 사용하는 광학소자들이나 레이저용 거울, 광속 분할기 등에 있어서 사용할 수 있는 파워의 한계는 광학 코팅들의 레이저 유도 손상 문턱값(Laser Induced Damage Threshold: LIDT)이 코팅되지 않은 표면들이나 bulk상태에 비해 낮아지므로 주로 박막들의 LIDT에 의해 제한된다고 할 수 있다.^[1,2]

산화물 박막들은 광학 소자들에 대한 코팅에 있어서 매우 중요한 물질들이어서 오랜동안 이들의 물리적 및 광학적 특성이 연구되어 왔다.^[3,4] 또한 UV 파장 영역으로부터 IR 파장 영역에 이르기까지 광범위하게 사용될 수 있고 역학적 특성 또한 매우 우수하다. 특히 고 굴절률 물질들이 많아 고 반사 거울의 제작에 있어서 적은 층수로도 고 반사 박막계를 구성할 수 있으므로 고출력 레이저 시스템에서 이용할 때 다소 유리한 장점을 갖고 있다.^[5,6]

흡수가 작은 광학 박막들에서의 레이저 손상은 주로 선형 흡수에 의한 것으로 알려져 있으며 흡수의 원인으로는 국부적인 것과 누적적인 것으로 나눌 수 있다. 누적적인 특성은 LIDT의 고유값을 나타내며 이 값은 적당한 물질과 증착 기술, 증착 변수들을 선택함으로써 최적화 될 수 있다. 국부적인 특성들은 종종 LIDT값이 고유값보다 낮아지게 하는 원인이 되기도 하는데, 이들은 기관 제작 시에 발생하는 것과 시료 제작시 증착 과정에서 발생하는 것으로 나눌 수 있다. 시료 제작시 증착 과정에서 층 내부 핵에 의해 발생하는 국부적 특성들은 박막의 역학적 및 화학적, 환경 특성에 영향을 주게되며 이런 것들은 미세적인 결함이나 기공, 오염의 형태로 나타

난다. 또한 레이저에 의해 발생하는 손상들은 가시적으로 검출할 수 있는 결함뿐 아니라 거의 원자-분자적 수준의 초 현미경적인 결함도 그 원인이 되기도 한다. 이들 영향을 실험적으로 개별화하여 구해내기는 그리 쉽지 않으므로 많은 경우 증착 변수들을 제작자 스스로 최적화 하게 된다.^[1,7-9]

본 연구에서는 고출력의 레이저 거울이나 광학소자들을 제작하기 위한 일차 단계로 Al₂O₃ 산화물 박막의 제작조건과 후처리 조건에 따른 레이저 손상 특성을 연구하였다. 여기서는 단층 박막계에 대해서만 주로 다루었으며, Nd-YAG 레이저의 1.06 μm 파장을 사용하여 광열편향(Photothermal Deflection)방법에 의한 LIDT, 레이저 conditioning 특성 등을 측정하였다.

II. 이 론

2.1. 박막계의 기본이론^[3,10]

굴절률 n , 인 기관 위에 증착된 복소 굴절률이 $N=n-ik$ 인 균일하고 등방적인 단층 박막은 다음과 같은 특성행렬 $[M]$ 으로 표현된다. 즉,

$$[M] = \begin{bmatrix} \cos\delta & i\sin\delta/N \\ iN\sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \quad (2)$$

로 표현되며, 여기서 δ 는 광학위상두께로

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} Nd \cos\theta \quad (2)$$

이다. 여기서 λ 는 파장이며 d 는 박막의 두께, θ 는 박막내의 굴절각이다.

기관과 박막의 경계 면으로부터 박막을 통하여 전달된 입사 경계면에서의 규격화된 전기장 B 와 자기장 C 는

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} 1 \\ n_s \end{bmatrix} \quad (3)$$

으로 주어진다. 입사 경계면에서의 어드미턴스 Y 는 경계 면

*본 연구는 1996년도 청주대학교 교비지원(일반과제)에 의한 연구 결과임.

에 평행한 전기장 B 와 자기장 C 의 비이며, 식 (1)과 (3)으로부터

$$Y = \frac{C}{B} = \frac{n_s \cos \delta + iN \sin \delta}{\cos \delta + i(n_s/N) \sin \delta} \quad (4)$$

이고, 반사율 R 은

$$R = \left(\frac{n_0 B - C}{n_0 B + C} \right) \left(\frac{n_0 B - C}{n_0 B + C} \right)^* \quad (5)$$

투과율 T 는

$$T = \frac{4n_0 n_s}{(n_0 B + C)(n_0 B + C)^*} \quad (6)$$

으로 주어지며, n_0 는 입사매질의 굴절률이다.

단층 박막에서 실제적으로 중요하게 고려해야할 두 가지 특별한 경우가 있다. 첫번째로 광학적 두께 $Nd \cos \theta = \lambda/4$ 인 경우로, 이때 특성행렬 $[M]$ 은

$$[M]_{\lambda/4} = \begin{bmatrix} 0 & i/N \\ iN & 0 \end{bmatrix}$$

의 간단한 형태가 되며, 두번째는 광학적 두께 $Nd \cos \theta = \lambda/2$ 인 경우로, 특성행렬 $[M]$ 은

$$[M]_{\lambda/2} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

이 된다.

복소수인 광학위상두께 δ 를

$$\delta = \alpha - \beta \quad (9)$$

라 정의하면, 즉

$$\alpha = \frac{2\pi n d}{\lambda} \quad (10)$$

$$\beta = \frac{2\pi k d}{\lambda} \quad (11)$$

이면, 특성 행렬 $[M]$ 은

$$[M] = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cosh \beta + i \sin \alpha \sinh \beta & i(\sin \alpha \cosh \beta + \cos \beta \sinh \beta)/N \\ iN(\sin \alpha \cosh \beta - i \cos \alpha \sinh \beta) & \cos \alpha \cosh \beta + i \cos \alpha \sin \beta \end{bmatrix} \quad (12)$$

으로 표현된다.

2.2. LIDT의 특성¹¹⁾

레이저 광에 대한 박막의 손상 문턱 값은 레이저 조사에 의해 박막 물질 내에 비가역적인 변화가 나타날 때의 파워로 정의한다. 광학박막의 손상 문턱 값에 영향을 주는 변수들은 다음과 같다.

사용광의 파장이나, 펄스 지속시간, 반복률, spot 크기 등에 관련된 조사광에 대한 조건과 흡수, 산란, 굴절률에 관계된 광

학적 특성, 전도율, 열용량, 다공성, 변형력 등에 관계된 열 및 역학적 특성 등이 변수가 된다. 이밖에도 미세구조나 표면 형상, 원소조성비, 오염도 등이 LIDT에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 박막의 LIDT는 증착 물질의 선택, 각층들의 조합, 설계, 증착 과정, 기판의 세정, 기판의 거칠기 등에 따라서 많은 차이를 나타낸다.¹⁷⁻¹⁹⁾

손상 문턱 값은 레이저의 펄스 길이, 파장, 빔 직경, 공간적 측면도(spatial profile), 시간적 측면도(temporal profile) 등에 매우 민감하다. 박막이나 물질들을 시험하는 경우 가능한 사용조건과 같은 조건에서 시험하는 것이 가장 좋다. 어떤 파장이나 펄스 길이에서의 손상 문턱 값은 다른 파장에서의 값으로 규칙에 따라 변환될 수 있다. 한 예로, 여러 물질들의 손상 문턱 값은 다음의 관계로 주어진다.

$$DT_1 = DT_0 (t_1/t_0)^x \quad (13)$$

여기서 DT 는 손상 문턱 값이고, t 는 펄스 길이, x 는 실험적 상수로 0.35의 값이 된다. 빛의 조사 순서 또한 손상 문턱 값 결정 시에 적절한 방법을 선택해야한다. 일반적으로 손상 검사에는 그림 1과 같은 4가지 형태가 있다.

박막의 장시간에 걸친 안정성을 시험하는데 있어서는 S:1 방법이 1:1 방법보다 우수하므로 S:1 방법이 많이 쓰인다. S:1 방법은 시험 조사 펄스 횟수를 증가시킴으로써 누적효과 등을 측정할 수 있다. 흡수가 큰 박막의 경우 손상 문턱 값을 거둬 조사할 때 감소되어져 누적 효과가 나타나는 경향을 보여준다. N:1과 R:1 시험은 물질들을 초기에 낮은 fluence로 조사를 하게 되는데, 여러 물질들에 있어서 이런 낮은 fluence 조사에 의해 손상 문턱 값이 2-3배만큼 증가됨을 알 수 있다.

광학 박막이나 결정체들의 LIDT 값보다 작은 세기의 레이저 조사에 의해 LIDT 값이 증가되어지는 현상들은 최근에 연구되어지고 있다. 이런 효과에 의한 손상 문턱 값의 증가를 "레이저 conditioning 효과"라고 부른다. 따라서 N:1과 R:1 검사에 의해서는 레이저 condition된 문턱 값을 측정하게 된다.

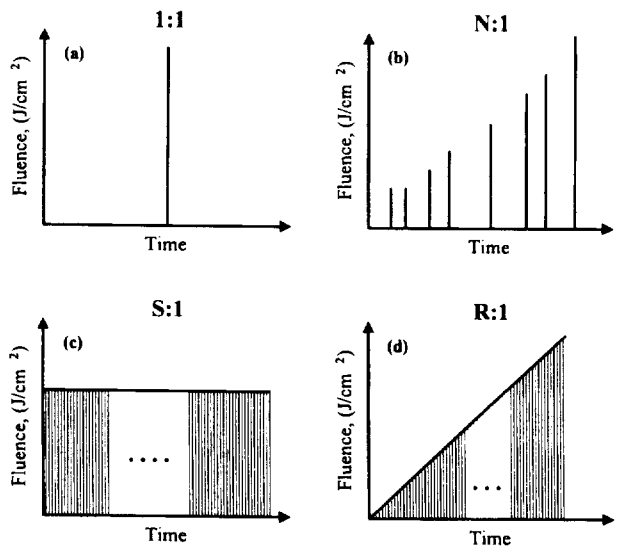


그림 1. 레이저 손상 문턱 값 측정을 위해 사용되는 4가지 방법들.

광학 박막에 있어서 문턱 값의 증가는 10.6 μm로부터 248 nm범위의 레이저 파장들에 대해서 측정될 수 있다.

대부분의 박막들은 광자에너지보다 큰 띠 간격(band gap) 에너지를 갖는 물질로 구성되어있으므로, conditioning 메커니즘은 아마도 결함들의 방출이나 안정화를 포함하게 될 것이다. 작은 면적들에 대한 손상 검사 결과들의 보고된 바에 의하면 면적 내에 결정성 결함들이 포함된 경우에는 conditioning 효과가 나타나지만 결함이 없는 영역들에서는 레이저 조사에 의해 상대적으로 영향을 받지 않는다고 되어있다. 이외에도 표면으로부터 물 성분이나 다른 불순물의 탈착이나, 박막 내에 포함되어있는 흡수성 함유물들의 느린 휘발화, 그리고 유전체 breakdown시에 요구되는 전도전자들의 근원을 제거하는 박막 재결정화 같은 메커니즘들이 제안되고 있다.

III. 실험

3.1. 박막 시료의 제작

유전체 물질로 레이저용 거울과 같은 고반사 거울을 제작하려면 일반적으로 흡수가 적은 고 굴절률 물질과 저 굴절률 물질을 1/4파장 두께로 교대로 쌓으면 된다. 그런데 고출력의 경우에는 강한 전기장으로 인해 박막 내에 Joule 효과나 이온화 과정 등이 발생하여 박막이 손상을 입는 원인이 되므로 박막에서의 전기장은 최소화해야한다. 이런 경우는 일반적인 1/4파장 스택은 이 조건에 만족스럽지 않게 된다. 따라서 층들의 구조를 변화시켜 전장의 최고점이 손상이 약한 점에서 멀어지도록 전장의 분포를 조정함으로써 물질 자체가 갖는 낮은 손상 문턱 값을 피할 수 있다(Shifted Electric Field : SEF).¹¹⁾ 또한 고반사를 얻기 위한 경우에 있어서 일반적으로 고 굴절률 층이 1/4파장 스택의 마지막 층, 공기와의 경계층이 되게 된다. 그런데 경우에 따라서는 1/2파장 두께나 이의 정수 배인 저 굴절률 층을 공기와의 경계층에 보호 코팅을 하면 반사율이나 전장 분포에는 영향을 주지 않고 LIDT를 개선할 수 있다. 특히 조밀도가 1에 가깝고, 막내의 잔류 응력(장력 스택인 경우 SiO₂ 압축층과 같은)을 감소시킬 수 있고, 역학적 세기가 강한 막으로 보호 코팅하면 효과적으로 LIDT를 증가시킬 수 있다. 이에 따라 전자빔 증발 방법에 의해 시료들을 1/2λ(λ=1.06 μm)의 광학적 두께로 제작하였다. 기판의 온도는 100°C로부터 350°C범위에서 시료를 제작하였다. Al₂O₃(Patinal 회사제품) 박막의 두께와 증착속도는 수정진동자(quartz oscillator)로 측정하여 제어했다. 증착 속도는 4~5 Å/sec 정도를 유지하였고 챔버내 기본 진공은 10⁻⁶ torr이하로, O₂ 주입 압력은 1~5×10⁻⁵ torr를 유지했다. 진공 시스템으로는 로터리 펌프와 터보 펌프를 사용하였다. 증착 과정 동안의 분출작용, 펌프작용, 기판 회전시에 튀어나오는 먼지 입자, 증착 물질 가열시 물질 내 함유된 가스 분출, 녹은 물질들이 큰 덩이로 튀어 오르는 현상, 대전입자들의 정전기적 척력, 열분해, 고온에 의한 상전이 등이 결함이나 씨의 근원이 될 수 있어 이에 따라 전자총 전압, 전류, 전자빔의 패턴 등을 조정하여 가능한 일정하게 고 순도가 유지되도록 하였다(표 1).

증착 조건에 따라 제작한 시료는 HITACHI사의 UV-Vis-

표 1. Al₂O₃박막의 증착 조건.

증착 변수	내용
증착 방법	e-beam 코팅
진공	Turbomolecular pump
기판 온도(°C)	100~350
e-gun power(kV)	6~9
기본 진공도(Torr)	≤ 10 ⁻⁶
반응 가스(O ₂) 압력(Torr)	1~5×10 ⁻⁵
증착률(Å/sec)	4~5
박막 두께(λ ₀ = 1.06 μm)	λ/2(광학적두께)

Near IR 분광광도계를 이용하여 파장 대역 350 nm에서 3200 nm까지 분광특성을 측정하였다. 같은 조건에서 제작된 시료는 보통(Normal) 시료와 열처리(Baking) 시료, 레이저 conditioning 시료로 분리되어 분광특성 및 시료의 LIDT 측정에 사용하였다. 열처리 시료는 증착 후 350°C에서 6시간 동안 열처리를 하였다. 레이저 conditioning 시료는 Nd:YAG 레이저를 이용하여 S:1 방법으로 1000~2500 펄스를 조사하였다. 위와 같이 시료들은 후 처리한 후 다시 분광기로 분광 특성을 측정하였다.

3.2. LIDT 측정

광학 박막의 LIDT결정에는 여러 가지 방법들이 사용되고 있다.^[1,11] 그 중에서 펄스 레이저를 사용하는 pulsed thermal mirage deflection 방법이 LIDT 측정에 있어 매우 편리하고 측정 정밀도가 높다.^[1,12,13] 이에 대한 기본적인 실험 배치가 그림

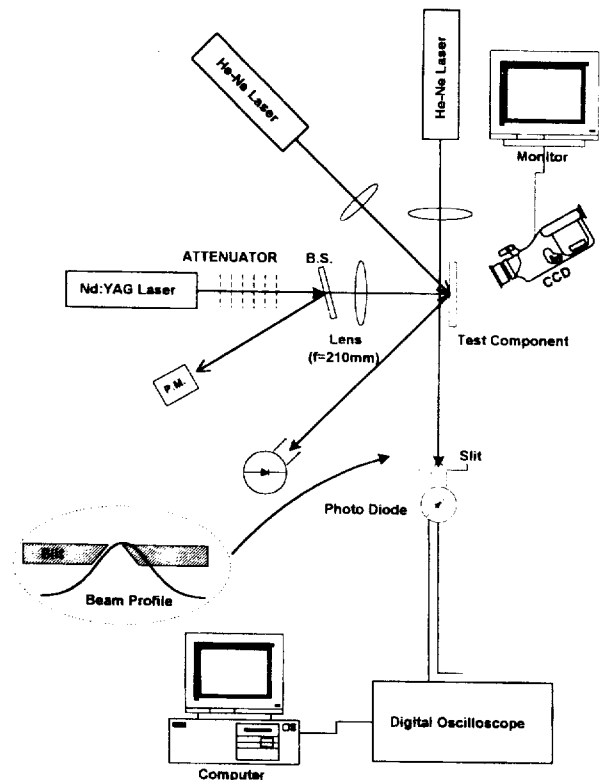


그림 2. 레이저 손상 측정 시스템.

2에 주어져 있다. 레이저는 파장 1.06 μm , 펄스 폭 16 ns, 최대 에너지 900 mJ/pulse인 Nd-YAG 레이저를 펌프광으로 사용하였다. 펌프 레이저 광에 의해 시료주위 공기의 굴절률은 유도된 초음속 압력파에 의해 과도적으로 변하게 되며 이 충격파는 초음속으로 방출되는 박막 물질들에 의해 유발되므로 따라서 용발의 지표가 된다. 이 충격파는 시료표면에서 수 mm 떨어진 위치에 평행하게 정렬되어있는 He-Ne 레이저 탐사 광을 mirage 현상으로 편향하게 된다. 편향되는 진폭의 최고점 값은 펌프광의 입사 fluence의 함수로 기록되고 이의 변화를 통해 LIDT를 결정하게 된다.

이와 함께 시료표면의 펌프광으로 조사된 부분에 또 다른 탐사광을 두어 그 반사광들의 반사율의 변화를 측정했다. CCD가 부착된 광학 현미경을 사용하여 박막이 손상을 입게 되는 경우에 발생하는 표면 반사율이나 산란 세기의 변화에 의한 영상의 휘도 대조 차이와 형태를 측정하였다. 이러한 방법에 의해 산란 중심들과 LIDT를 또한 결정할 수 있었다.

그림 3(a)와 그림 3(b)는 손상 이미지와 오실로스코프로 측정된 mirage 신호의 한 예를 보여준다.

본 연구에서는 먼저 1:1방법으로 시료의 LIDT를 측정한 후 S:1방법과 R:1방법을 사용하여 열처리 및 레이저 conditioning 효과에 의한 LIDT변화를 조사된 광량(J/cm^2)의 함수로 측정하였다.

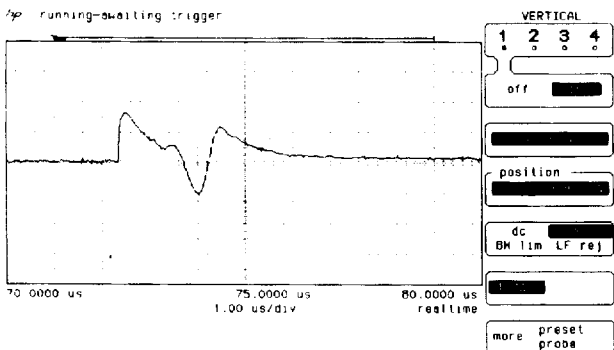
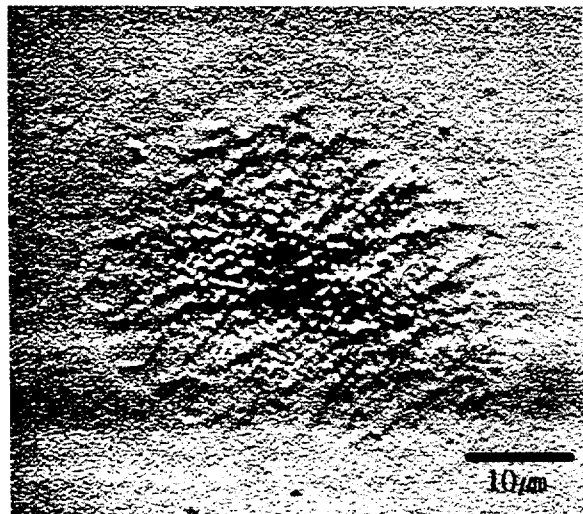


그림 3. 박막의 LIDT결정시 측정되는 (a) 손상 이미지 (b) mirage 신호의 비교.

3.3. X-ray 광전자 분광 분석

박막 표면의 화학적 구성은 표면분석 시스템인 X-ray 광전자 분광기(X-ray Photoelectron Spectroscopy)로 분석하였다. 광전자 스펙트럼은 여기원 $\text{MgK}\alpha$ 로 0에서 1000 eV까지 측정하였다. Al 2s, Al 2p, C 1s 및 O 1s 피크들을 높은 분해능을 가지고 분석하였다. 후처리하지 않은 시료와 열처리 시료 및 conditioning 시료는 2 mm \times 2 mm 크기로 분할하여 사용하였다.

IV. 실험 결과 및 논의

4.1. 열처리와 레이저 conditioning

그림 4는 기판 온도를 달리하여 제작한 Al_2O_3 박막의 열처리 전후의 분광 특성변화를 나타낸다. 실선은 열처리 전의 분광 투과도이고 점선은 열처리 후의 분광투과도를 나타낸다. 각기 다른 온도에서 제작된 시료들을 350 nm로부터 3200

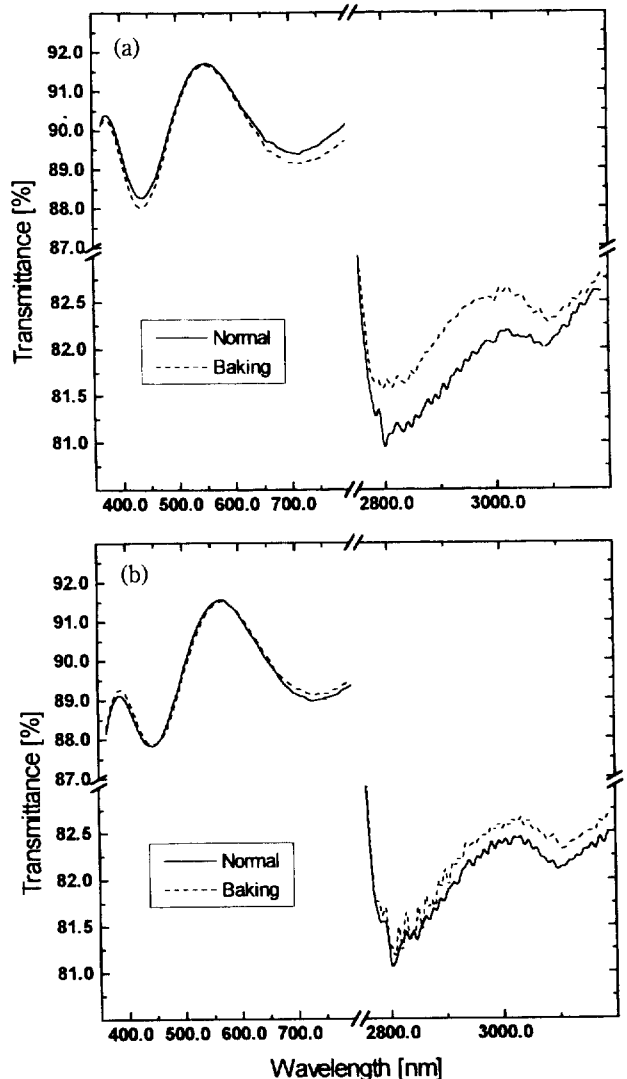


그림 4. Al_2O_3 박막의 열처리 전.후의 분광 투과도의 변화. (a) 증착 온도 200°C (b) 증착 온도 350°C

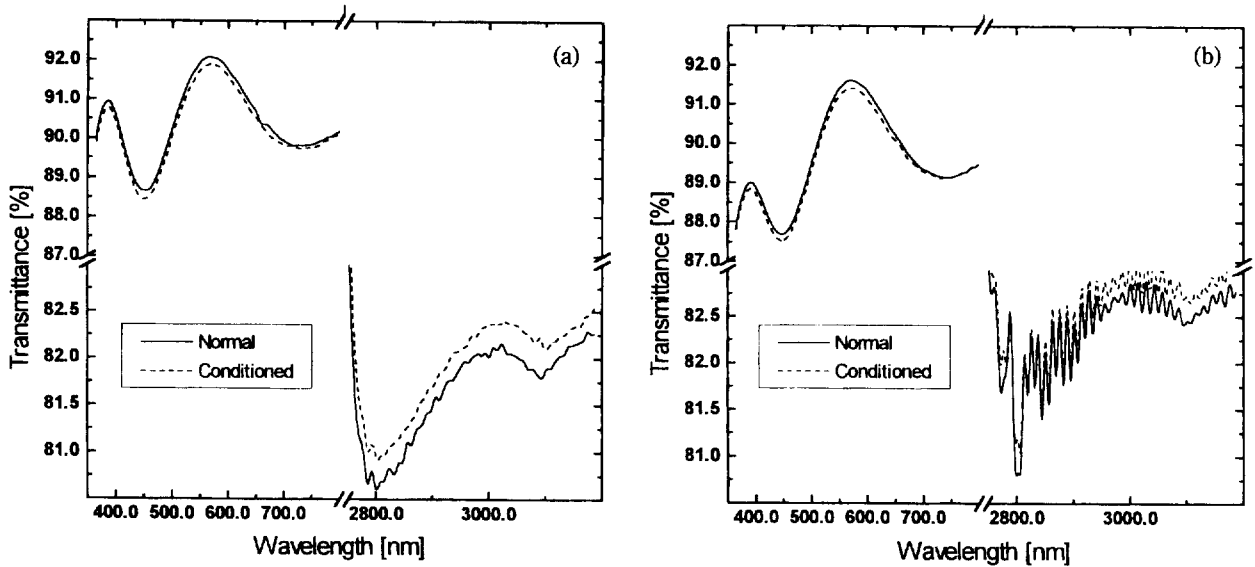


그림 5. Al₂O₃ 박막의 레이저 conditioning 전,후의 분광 투과도의 변화. (a) 증착 온도 200°C (b) 증착 온도 350°C

nm의 파장영역에서 투과도를 측정하였다. 측정된 분광 투과도를 보면 기판 온도 200°C(그림 4(a))에서 제작된 치료의 경우 열처리함으로써 투과도의 변화가 비교적 명확히 나타난다. 가시광 파장 영역에서의 투과도 변화를 보면 최소점이 더욱 감소되었으므로 박막의 굴절률이 다소 증가되었음을 알 수 있다. 이는 조밀도가 증가되었기 때문인 것으로 생각되는데, 가시광영역 투과율 그래프를 보면 장파장 또는 단파장의 어느쪽으로도 이동되지 않고 있음을 볼 수 있다. 이는 조밀도(굴절률) 변화와 아울러 박막의 물리적 두께가 감소되어 전체적인 광학적 두께에는 큰 변화가 없기 때문인 것으로 해석된다. 또한 2800 nm 근처 파장 영역에서의 변화를 보면 투과율이 현저히 증가되고 있는데 이 또한 조밀도 변화에 의해 박막 내의 수분 함량이 감소되어 수분 흡수가 감소되었기 때문인 것으로 보여진다. 그림 4(b)는 박막 제작시 기판 온도가

350°C인 경우로 이런 효과가 매우 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 Al₂O₃ 박막의 증착 조건과 레이저 conditioning 전후의 분광 투과 특성을 보여준다. 측정 결과를 보면 가시광 파장 영역에서는 레이저 conditioning 효과에 의해 분광 투과도가 전체적으로 다소 감소되는 경향을 보이고 있으며 2800 nm 근처의 파장 영역에서는 투과도가 증가하고 있다. 이런 특성은 열처리 경우와는 달리 기판 온도에 따라서는 큰 차를 나타내지 않고 있다. 한편 그림 5(b)에서보면 앞의 다른시료의 투과율 그래프에 비해 2800 nm이상의 파장영역에서 투과율의 파장에 따른 요동이 더 크게 나타나고 있는데 다수의 맨유리(bare glass) 기판들의 분광투과도를 동일 방법으로 조사한 결과 일부 시료들이 동일 양상을 나타내고 있었다. 따라서 그 요동은 기판 자체에서 기인한 것으로 생각된다.

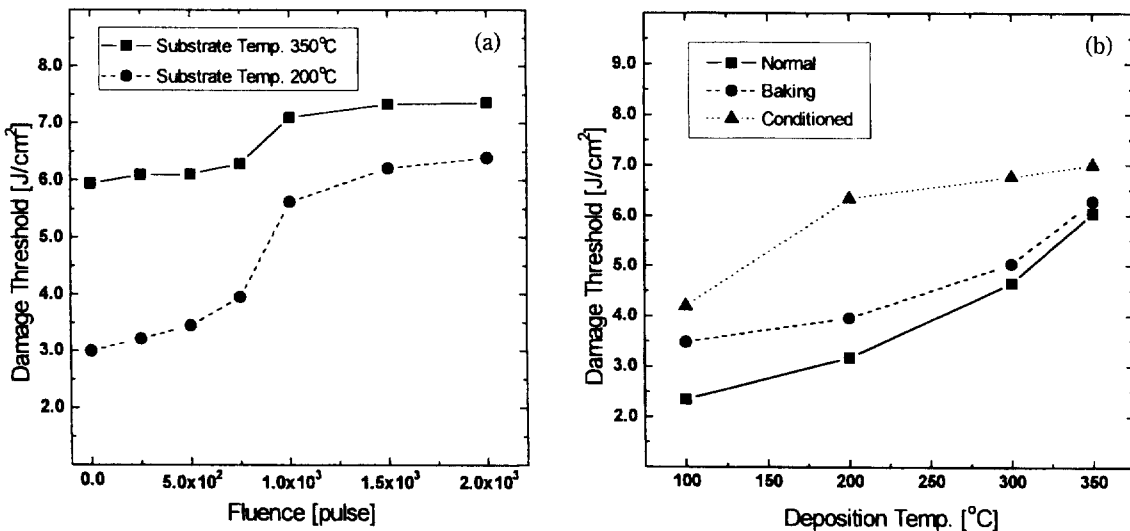


그림 6. Al₂O₃ 박막에서 S:1 방법으로 측정된 레이저 conditioning과 LIDT. (a) 레이저 conditioning(200°C : 2.2 J/cm², 350°C : 5.0 J/cm²) (b) LIDT 측정 결과.

4.2. LIDT

그림 6(a)는 S:1 방법(여기서 1 pulse의 파워는 2.2~5.0J/cm² 이다)에 의해 측정된 레이저 conditioning 효과를 보여준다. 측정 결과 레이저 conditioning 필수 수에 따라 LIDT가 증가되고 있는데 1000펄스 이상에서는 증가율이 현저히 둔화되고 있음을 알 수 있다.

그림 6(b)는 기판 온도를 100°C, 200°C, 300°C, 350°C로 변화시키면서 각각 20개씩 제작한 시료들의 LIDT값들의 평균값을 보여준다. 제작 온도가 100°C인 경우 LIDT값은 약 2.4 J/cm²로 측정되었고 350°C에서 제작한 시료의 경우는 약 6.0 J/cm²의 LIDT값이 측정되었다. 증착후에 열처리를 함으로써 LIDT는 증가되었는데, 100°C에서 제작한 시료의 경우에는 LIDT가 약 1.5배 증가되었으나, 제작 온도가 증가함에 따라 이 폭은 감소되어 350°C에서 제작한 시료의 경우에는 약

1.05배로써 열처리에 의한 LIDT개선 효과가 비교적 작게 나타났다. 그러나 같은 시료들을 레이저 conditioning한 결과 100°C에서 제작한 시료는 LIDT가 약 1.8배 증가하였고 200°C에서 제작한 시료는 약 2배, 350°C에서 제작한 시료는 약 1.2배 증가하였다.

4.3. XPS 측정결과

그림 7은 Al₂O₃ 박막에서 측정된 XPS 데이터 중 탄소(C 1s) 피크의 변화를 보여준다. 측정 결과를 보면 열처리한 시료는 열처리하지 않은 시료에 비해 C 1s 피크가 매우 감소하였으나 레이저 conditioning을 한 경우에는 C 1s 피크의 변화가 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 시료 표면의 탄화수소 성분이 열처리에 의해 보다 많이 제거되고 있음을 나타낸다.

그림 8은 Al₂O₃ 박막에서 측정된 XPS 데이터로써 알루미늄

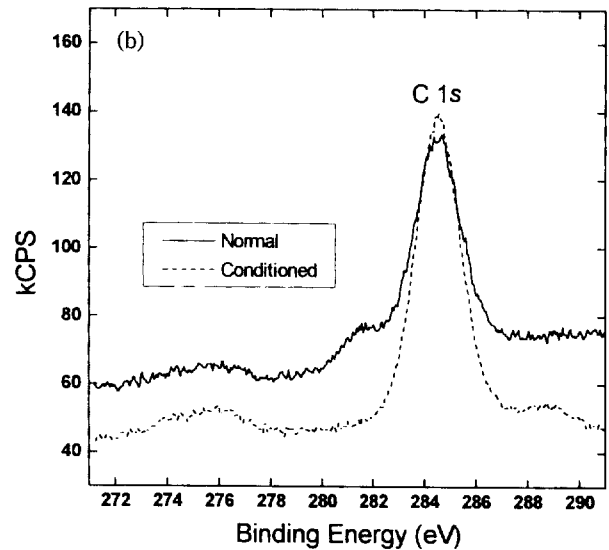
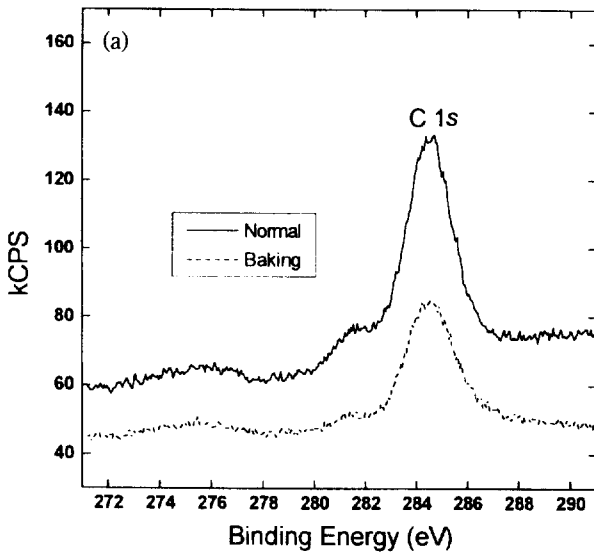


그림 7. Al₂O₃ 박막 표면을 XPS로 측정된 C 1s peak. (a) Normal : Baking (b) Normal : Conditioned

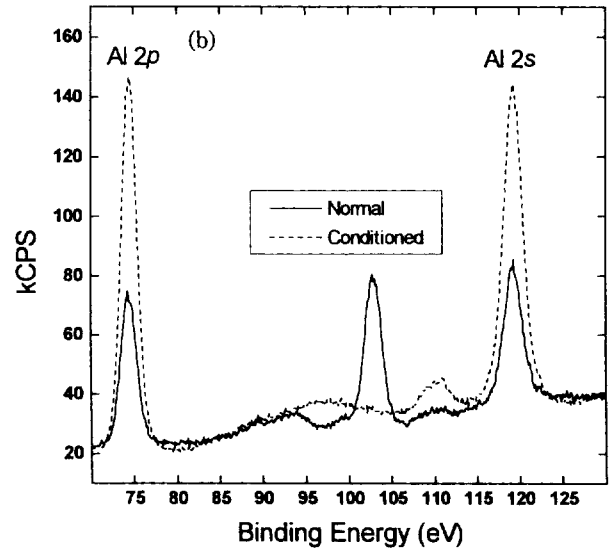
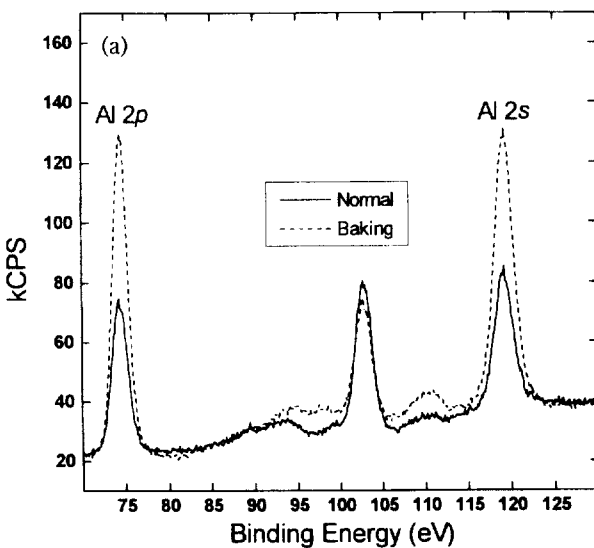


그림 8. Al₂O₃ 박막 표면을 XPS로 측정된 Al 2s, 2p peak. (a) Normal : Baking (b) Normal : Conditioned

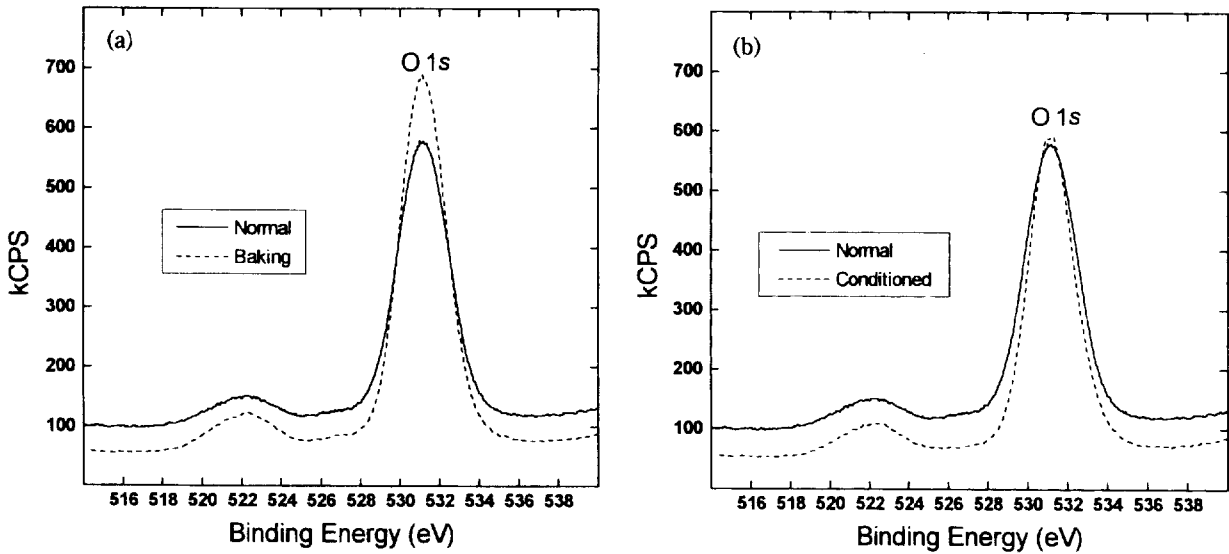


그림 9. Al₂O₃ 박막 표면을 XPS로 측정된 O 1s peak. (a) Normal : Baking (b) Normal : Conditioned

높(AI 2s와 2p) 피크의 변화를 보여준다. AI 2s와 2p 피크는 레이저 conditioning의 경우가 열처리한 경우보다 더욱 증가되고 있음을 알 수 있고, 102.7eV 근처에서 나타난 Si 2p에 비교되는 중간 피크는 레이저 conditioning에 의해 거의 제거되었으나, 반면에 열처리를 한 시료의 경우에는 이 피크가 약간 감소되고 있다. 이는 표면 층에 있던 Si 성분으로 추정되는 불순물이 레이저 conditioning에 의해 제거되었기 때문인 것으로 생각된다.

그림 9는 Al₂O₃ 박막의 XPS 데이터로써 산소(O 1s) 피크의 변화를 보여준다. 측정 결과를 보면 레이저 conditioning보다는 열처리를 한 경우 O 1s 피크는 현저하게 증가되었다. 이는 Al₂O₃ 박막내의 부분적인 산소 결핍 구조가 열처리에 의해 산소가 채워져 결합되어진 것으로 이해될 수 있다.

XPS 측정 결과를 보면 열처리와 레이저 conditioning에 의해 제거되는 불순물들이 서로 다름을 알 수 있고, 또한 박막의 부분적 구조 결합이 보완되고 있음을 알 수 있다. 특히 AI 피크와 O 피크를 연관지어보면 열처리와 레이저 conditioning에 의해 AI 피크가 증가되었고 O 피크는 열처리에서만 증가되었다. 이러한 양적인 변화는 열처리에 의해, 부분적으로 결핍되었던 원소 조성의 재결합으로 볼 수 있다.

결 론

Al₂O₃ 박막의 후처리 효과와 LIDT 특성에 관해 연구 하였다. 증착 온도를 달리하여 시료를 제작하였고, 후처리 전후의 분광 투과도를 측정하였다. 투과도 변화는 증착 온도가 높을수록, 열처리한 경우보다는 레이저 conditioning한 경우에 있어서 작게 나타났으며, 2800 nm 근처 파장 영역에서의 투과도는 증가되었다. 이는 조밀도 변화에 의해 박막내의 수분 함량이 감소되어 수분 흡수가 감소되었기 때문인 것으로 보여진다. 열처리는 증착 온도가 낮을수록 큰 변화가 나타났으며 레이저 conditioning에 의한 변화는 증착 온도와 무관하게 일정하였다.

Al₂O₃ 박막의 LIDT는 일반적으로 증착 온도가 높을수록 LIDT값이 높게 측정 되었다. 후처리하지 않은 시료의 경우 증착 온도 100°C에 비해 350°C에서 LIDT값은 2배 이상 높았으며 열처리한 경우에서도 거의 2배 이상 높게 측정 되었다. 또한 레이저 conditioning한 경우에서도 증가되었지만, 열처리한 시료의 LIDT와는 달리 증착 온도 200°C 이상에서는 증가율이 현저하게 감소되었다.

XPS 측정 결과 후처리에 의한 Al₂O₃ 박막표면내의 불순물이 제거되는 효과가 측정되었고, 후처리 효과에 따라 제거되는 불순물의 종류들이 서로 다름을 알 수 있었다.

일반적으로 고출력 레이저용 박막은 여러 가지 물질들의 조합으로 제작된다. 본 연구에서는 파장 대역이 넓고 광학 박막에서 널리 사용되는 Al₂O₃ 박막의 후처리에 의한 특성과 LIDT와의 관계를 측정하였다. 앞으로 다른 광학 박막물질들이나, Al₂O₃ 박막과 조합된 다층 광학 박막의 후처리에 대한 특성과 LIDT, 증착 조건에 따른 LIDT가 연구 과제로 남을 것이다.

참고문헌

- [1] Francois R. Flory, *Thin Films for Optical Systems* (Marcel Dekker, Inc., New York, 1995).
- [2] N. Kaiser, H. Uhlig, U.B. Schallenberg, B. Anton, U. Kaiser, K. Mann, E. Eva, *Thin Solid Films* **260**, 86 (1995).
- [3] H. A. Macleod, *Thin-Film Optical Filters* (second edition) (Macmillan Publishing Company, New York, 1986).
- [4] M. Reichling, J. Siegel, E. Matthias, H. Lauth, E. Hacker, *Thin Solid Films* **253**, 333 (1994).
- [5] M. Zukic, D.G. Torr, J.F. Spann, M.R. Torr, *Appl. Opt.* **29**, 4284 (1990).
- [6] M.R. Kozlowski, R.J. Tench, R. Chow, L. Sheehan, *Optical Interference Coatings*. SPIE 2253, 743 (1994).
- [7] C. Gallou, P. Isnard, H. Piombini, B. Schmitt, *Thin Films for Optical Systems*. SPIE 1782, 416 (1992).
- [8] E. Hacker, H. Lauth, P. Wei brodt, *Thin Films for Opt-*

- ical Systems. SPIE 1782, 447 (1992).
- [9] N. Kaiser, Optical Interference Coatings. SPIE 2253, 722 (1994).
- [10] Alfred Thelen, *Design of Optical Interference Coatings* (McGraw-Hill, Inc., New York, 1989).
- [11] E. Eva, K. Mann, N. Kaiser, B. Anton, R. Henking, D. Ristau, P. Weissbrodt, D. Mademann, L. Raupach, and E. Hacker, Appl. Opt. **35**, 5613 (1996).
- [12] E. Welsch, D. Ristau, Appl. Opt. **34**, 7239 (1995).
- [13] M. Commandre, E. Pelletier, Appl. Opt. **29**, 4276 (1990).

The influences of laser-induced damage threshold by the post-processing of Al_2O_3 thin films

Yeon Serk Yu and Seong Hun Lee
Department of Optical Engineering, Chongju University

(Received : June 2, 1997)

The influences of laser-induced damage threshold by the after-processing of Al_2O_3 thin films was investigated. The samples were fabricated at the substrate temperature of 100°C, 200°C, 300°C and 350°C respectively, and the LIDT were measured by using Nd:YAG laser. After the processing with baking and laser conditioning of the samples, the variation of LIDT was measured. It was found that LIDT was enhanced twice by laser-conditioning process and 1.5 times by baking process. In addition, we measured the chemical properties of the thin film structure before and after the processing by using XPS.