

In-situ ellipsometry를 사용한 광기록매체용 Ge-Sb-Te 다층박막성장의 실시간 제어

김종혁 · 이학철 · 김상준 · 김상열[†]

아주대학교 분자과학기술학과

Ⓣ 442-749 수원시 팔달구 원천동 산 5

안성혁 · 원영희

아주대학교 물리학과

Ⓣ 442-749 수원시 팔달구 원천동 산 5

(2002년 3월 26일 받음, 2002년 5월 31일 수정본 받음)

광기록매체용 Ge-Sb-Te 다층박막 성장과정을 in-situ 타원계를 사용하여 실시간으로 모니터링하여 각 층의 두께를 제어하고 성장된 Ge-Sb-Te 다층박막을 ex-situ 분광타원법으로 확인하였다. 보호층인 ZnS-SiO₂와 기록층인 Ge₂Sb₂Te₅을 단결정실리콘 기층 위에 스퍼터링 방법으로 각각 성장시키면서 구한 타원상수 성장곡선을 분석하여 성장에 따르는 보호층의 균일성 및 기록층의 밀도변화를 파악하고 이를 기초로 하여 Ge-Sb-Te 광기록 다층박막의 두께를 정밀하게 제어하였다. Ge₂Sb₂Te₅ 단층박막 시료의 복소굴절율은 ex-situ 분광타원분석을 통하여 구하였다. 제작된 다층구조는 설정된 다층구조인 ZnS-SiO₂(1400 Å) GST(200 Å)ZnS-SiO₂(200 Å)와 각 층의 두께 및 전체 두께에서 1.5% 이내에서 일치하는 정확도를 보여주었다.

주제어 : optical recording medium, Ge-Sb-Te, multilayer, ellipsometry, growth monitor.

I. 서 론

현대사회에서는 컴퓨터와 더불어 인터넷의 발달로 인하여 엄청난 양의 정보를 취급하고 있으며 정보를 저장하거나 전송할 경우에 사용되는 보조기록매체의 기억용량도 이와 비례하여 대용량, 고집적화하고 있다. 보조기록매체로 많이 사용하는 자기기록방식의 플로피 디스크는 그 용량이 수 메가에서 수백 메가 정도이며 외부 자기장에 노출될 때 저장된 자료가 쉽게 손상될 수 있다. 이에 반하여 광을 이용한 보조기록매체는 수기가 이상의 기억용량을 가지며 외부 자기장에 아무런 영향을 받지 않을 뿐 아니라 빛을 이용하는 편의성을 가지고 있다. 빛을 이용하여 정보를 저장 기록할 때 사용되는 대표적인 기록형식으로 CD(Compact Disk)형태로 미리 저장된 정보를 단순히 읽기만 하는 CD-R(Compact Disk Read-Only)과 한번만 기록할 수 있는 CD-W(Compact Disk Write-Once)가 있다. 그러나 이들은 기록매체의 특성에서 유래하는 정보의 반복기록에 있어서 제약을 가지고 있기 때문에 다수의 반복기록이 가능한 광기록매체에 대한 연구가 최근 십수년간에 걸쳐 활발히 진행되어 왔다.^[1]

사용자가 정보를 임의로 기록하고 소거할 수 있는 광기록형식인 CD-RW(Compact Disk Rewritable)은 자기적인 특성을 병용하는 광자기(Magneto-Optical, MO)디스크와 상변화 물질을 이용하는 상변화(Phase-Change, PC)디스크의 두 가지로 대별할 수 있다. 상변화 디스크에서는 Te계열의 상변화 물

질을 이용하여 결정상과 비정질상으로의 상변화와 수반되는 반사율의 차이를 이용하여 정보를 기록, 재생하게 된다. 상변화 디스크의 물성연구는 국내에서는 일부 기업체와 연구소에서 진행되고 있으며 전세계적으로 상변화 디스크와 관련한 연구는 일본에서 선도하고 있으나 실용적인 측면에 치중하고 있으며 상변화 물질의 광물성과 상변화에 관여하는 상변화기구에 대한 기초연구는 미흡한 실정이다.^[1]

차세대 상변화 광기록매체로 주목받고 있는 물질로 Ge₂Sb₂Te₅(GST)가 있다. GST는 현재에도 널리 사용되고 있는 대표적인 상변화 물질로써, 열처리 조건에 따라 비정질상(amorphous phase)과 결정상(crystalline phase)으로 상호가역적으로 변화하며, 비정질상과 결정상간의 반사율의 차이가 약 20% 이상으로 큰 차이를 보인다.^[2,3] 광기록에서는 이 반사율의 차이를 이용하여 디지털 정보를 기록하고 재생하게 된다. GST를 이용하여 제작되는 광디스크는 GST 기록층 주위로 보호층과 열전도층 등이 있는 다층구조를 가지는데, 보호층은 기록 또는 소거를 위하여 조사되는 레이저의 간섭을 최대로 하며 열전도층은 GST 기록층에 흡수된 레이저 에너지가 열에너지로 변환된 뒤 뒷면의 방열코팅으로 전달되는 정도를 조절하여 GST 기록층의 온도가 원하는 값을 가지도록 설계된다. 이와 같이 레이저 에너지의 분포 및 흡수된 열량 그리고 열전도 특성 등을 최적화하여 GST 기록층의 온도를 효과적으로 제어하기 위해서는 금속합금박막인 GST 기록층 및 유전박막인 보호층과 열전도층의 두께를 최적으로 제어함이 긴요하다.^[4]

본 연구에서는 광기록매체용 다층박막의 각 층의 광물성을 구한 뒤 in-situ 타원법(ellipsometry)을 적용하여 각 층의 두

[†]E-mail: sykim@madang.ajou.ac.kr

계를 실시간으로 제어하였다. 본 연구결과는 다른 다층박막의 두께를 in-situ 실시간으로 제어하는 데 매우 유용하게 응용될 수 있을 것이다.

II. 타원계 및 타원상수

본 연구에서 사용된 타원계(ellipsometer)는 편광자-시료-검광자의 구조 즉 PSA구조를 가지며 회전검광자 방식으로 구동되고 있다. 이 타원계를 스퍼터링 장비의 관측창에 장착하여 실시간으로 in-situ 측정을 할 수 있도록 하였다. PSA 방식의 타원계에 의한 편광상태의 변화는 Jones 행렬을 사용하여 분석할 수 있으며 검출되는 빛의 세기는 아래와 같이 표현된다.^[5]

$$I = I_0 (1 + \alpha \cos 2A + \beta \sin 2A) \quad (1)$$

여기에서 A는 회전검광자의 방위각을 나타낸다. 식 (1)의 푸리에계수인 α 와 β 그리고 편광자의 방위각 P를 사용하여 타원상수 $\tan \Psi$ 와 $\cos \Delta$ 에 관한 표현을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\tan \Psi = \tan P \sqrt{\frac{1 + \alpha}{1 - \alpha}} \quad (2)$$

$$\cos \Delta = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \quad (3)$$

III. 실험기기

3.1. 스퍼터링 챔버

박막의 증착에 사용된 마그네트론 스퍼터링 시스템에는 세 개의 스퍼터링건을 부착시켜 서로 다른 세 개의 물질을 동시에 입힐 수 있도록 설계하였고, 전원공급장치는 출력제어가 가능한 RF전원과 DC 전원을 각각 사용하여 금속과 유전체를 고루 증착할 수 있도록 하였다. 시료지지대를 기준으로 입사광과 반사광이 법선과 이루는 각도가 각각 70°가 되도록 관측통로(view port)를 만들었다. 이 관측통로에는 in-situ 타원계를 장착하여 박막의 두께 혹은 물질에 따른 타원상수의 변화를 실시간으로 측정할 수 있도록 하였다. 또한 시료지지대의 미소이동장치나 미소기울기조절장치를 챔버외부에 설치하여 진공을 유지한 상태로 시료의 광학정렬을 쉽게 하도록 하였다. 박막이 균일하게 입혀질 수 있도록 시료지지대를 회전시키며 동시에 기층의 온도를 상온에서 750°C까지 제어할 수 있도록 할로겐 등과 열전쌍을 적절하게 배열하였다.

3.2. In-situ 타원계 및 분광타원계

본 실험에 사용된 in-situ 타원계는 그림 1과 같이 632.8 nm의 파장을 갖는 He-Ne 레이저를 광원으로 사용하고 있다. He-Ne 레이저에서 방출되는 632.8 nm 광원은 편광자를 통과한 후 선편광 상태로 시료면에 입사한다. 반사광은 일반적으로 타원 편광상태가 되고 검광자를 통과한다. 검광자의 회전각에 따른 빛의 세기로부터 편광상태를 실시간으로 구하게 된다. 편광자 및 검광자는 두께가 0.7 mm, 광소거율이 10⁻⁴인 편광판을 사용하였다. 얇은 두께의 편광판을 회전축과 수직으로 장착하여

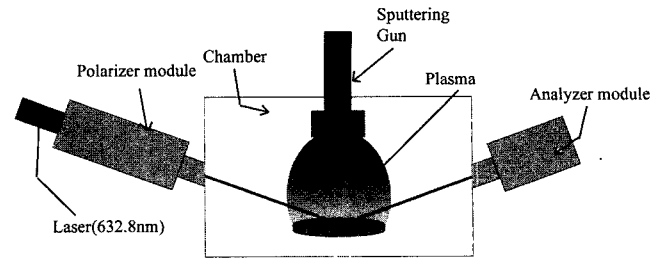


그림 1. 스퍼터링 챔버에 장착된 in-situ 타원계의 대략적인 그림.

편광자의 회전에 따르는 투과광축의 이동을 최소화하였다. 검광자는 직류모터를 사용하여 정속 회전시켰고 검광자의 각도는 광축상에 장착되어 있는 증공형(hole type) 광학엔코더의 TTL 신호를 이용하여 자동으로 검출하였다. 편광자의 방위각은 스텝모터 및 마이크로스테핑 구동기를 사용하여 0.009도의 오차 내에서 자동으로 설정할 수 있는데 측정시에는 45도로 유지하였다. 광 검출소자로는 증폭회로가 내장된 실리콘 광다이오드를 사용하여 주변 전자회로를 간단하게 구성하였다.^[6]

제작된 시료의 광물성 및 두께 측정에 사용된 분광타원계(spectroscopic ellipsometer)는 위상변조방식의 타원계로써 측정범위는 0.74 eV~4.5 eV이다. 광원은 300 W의 Xe 방전램프를 사용하고 입사각은 0.005도의 재현성으로 자동으로 조절할 수 있도록 되어 있다.

3.3. 박막시료의 제작

시료는 스퍼터링 방법으로 제작하였다. 광기록에 사용되는 실제구조는 그림 2에서와 같이 Land/Groove 구조를 가지며 핵심이 되는 다층박막구조는 ZnS-SiO₂(1400 Å)|GST(200 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å)와 같다.^[4] 본 연구에서는 Land/Groove 구조 대신 평면다층구조를 상정하고 각 층을 구성하는 물질의 굴절율과 두께에 대응되는 타원상수를 전산시뮬한 다음 이같이 전산시뮬된 타원상수를 가지는 시료를 제작함으로써 원하는 구조 및 물성을 가지는 광기록 시료를 구현하였다.

GST박막 시료는 DC 스퍼터링 방법으로 제작하였다. 단결정

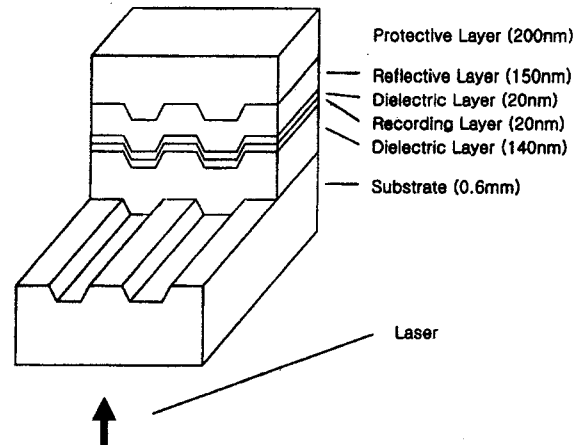


그림 2. 광기록층인 Ge-Sb-Te 합금을 포함한 다층박막이 PC기층 위에 Land/Groove 구조에 따라 입혀져 있는 모습^[4].

실리콘웨이퍼를 기판으로 사용하고 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 를 타겟으로 사용하였으며 초기 진공도는 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ Torr, 아르곤 분압은 5×10^{-3} Torr, 입력전력은 18 W로 하였다. GST 박막의 두께는 대략 160 Å(GST_14), 610 Å(GST_20) 그리고 200 Å(GST_17)이 되도록 각각의 증착시간을 조절하였다. 상변화 광기록 다층구조의 보호층과 열전도층으로 사용되는 ZnS-SiO_2 박막은 RF 스퍼터링 방법으로 제작하였다. 실리콘웨이퍼를 기판으로 사용하고 ZnS-SiO_2 를 타겟으로 사용하였으며 초기 진공도는 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ Torr, 아르곤 분압은 5×10^{-3} Torr, 입력전력은 50 W로 하였다. 마지막으로 GST 단층박막 시료와 ZnS-SiO_2 단층박막 각각에 대해 박막두께를 정밀 제어한 자료를 사용하여 $\text{ZnS-SiO}_2(1400 \text{ Å})/\text{GST}(200 \text{ Å})/\text{ZnS-SiO}_2(200 \text{ Å})/c\text{-Si}$ 의 구조를 가지는 다층박막시료를 제작하였다.

IV. 분석 및 검토

4.1. GST박막

GST 박막은 타겟물질의 명목상 조성비가 동일하더라도 박막성장 환경 등에 따라서 그 복소굴절율에서 약간의 차이를

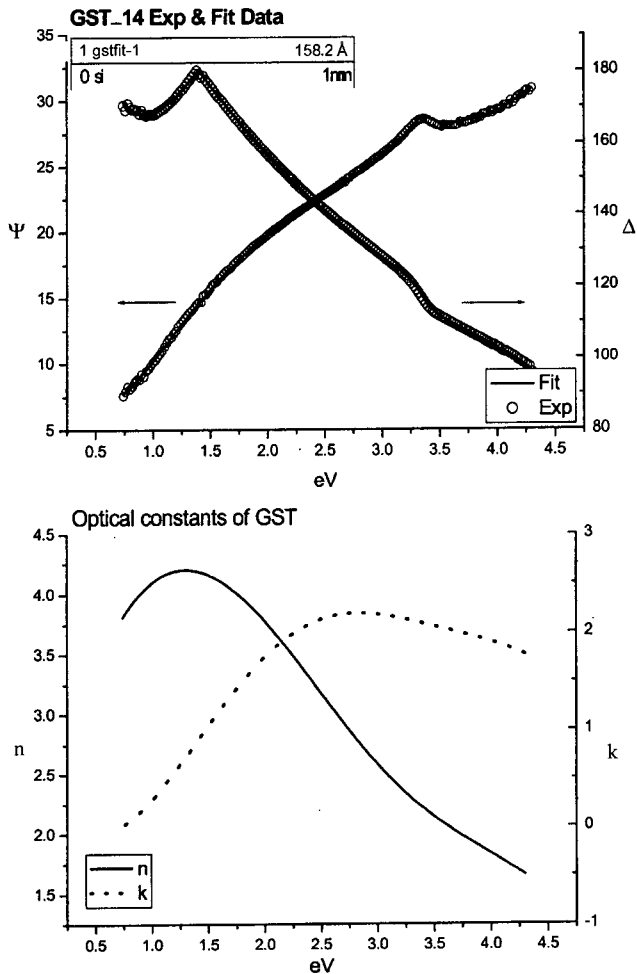


그림 3. 실험실에서 제작된 GST_14 박막을 기존의 GST 굴절율을 이용하여 대략의 두께를 구한 후 수치해석적 역방계산으로 최적맞춤하여 구한 GST의 복소굴절율 기준데이터.

보여준다.^[7] 따라서 본 연구에 사용된 GST 박막에 대한 기준 데이터를 다음과 같이 별도로 구하였다. GST박막 시료들 중 박막의 두께가 얇아서 물성이 비교적 균일할 것으로 예상되는 GST_14 시료를 분광타원계를 이용하여 측정하고 기존의 GST의 굴절율을 이용하여 대략의 두께를 구한 뒤 그 두께에 대한 수치해석적 역방계산을 통하여 그림 3에서와 같은 GST 복소굴절율의 기준데이터를 얻었다.^[2,3]

다음으로는 증착환경을 동일하게 유지하며 GST의 두께가 600 Å 정도가 될 때까지 증착시키는 동안 in situ 타원계를 사용하여 실시간으로 타원상수 α, β 의 성장곡선을 측정하였다. GST_14의 분석에서 구한 GST의 굴절율을 이용하여 계산한 성장곡선을 실험으로 구한 성장곡선과 비교 분석하였다.

성장곡선을 비교한 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 박막의 두께가 250 Å 정도가 될 때까지는 계산된 성장곡선과 측정된 성장곡선이 서로 일치하지만 그 이후의 성장곡선은 서로 많은 차이를 보여주는데 이것은 박막의 두께에 따라 GST의 굴절율이 변하는 것을 반영하고 있다. 박막의 두께를 600 Å 정도까지 비교적 두껍게 증착시킨 GST_20의 분광타원 측정값을 GST_14 시료의 기준데이터를 이용하여 최적맞춤하여 보면 균일한 박막이 기층과 매질사이에 있는 광학모델 즉 3상계 모델을 사용할 때에는 그 결과가 측정값과 큰 차이가 남을 확인할 수 있다(그림 5, 위). 이는 예상했던 바와 같이 성장에 따르는 박막 굴절율의 불균일성에서 기인하며 이러한 굴절율의 불균일성은 성장에 따른 박막밀도의 변화에 비롯한 것으로 추정되었다. 박막성장에 따른 밀도변화는 다음과 같은 광학모델을 통하여 반영시키고 모델링분석을 사용하여 분석하였다. 3박막모델(밀도변화를 개략적으로 반영하기 위하여 박막을 3개의 균일층으로 대체시킨 광학모델)에 따라 나누어진 각 박막의 조밀도를 박막내의 미소 빈공간(micro-void)의 분율으로 반영시켰다. 미소 빈공간의 분율이 클수록 박막의 조밀도는 감소하는 것으로 예를 들어 20%의 미소 빈공간은 80%의 박막조밀도에

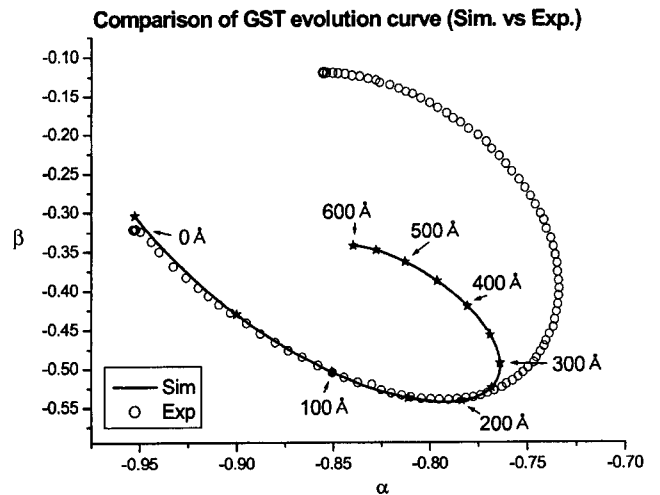


그림 4. 성장에 따른 GST 박막의 α, β 변화. GST_14의 굴절율을 이용하여 두께에 따른 GST의 α 와 β 값에 따른 변화를 5 Å 간격으로 600 Å까지 전산시뮬하여 GST_20 시료의 실험 데이터와 비교한 결과.

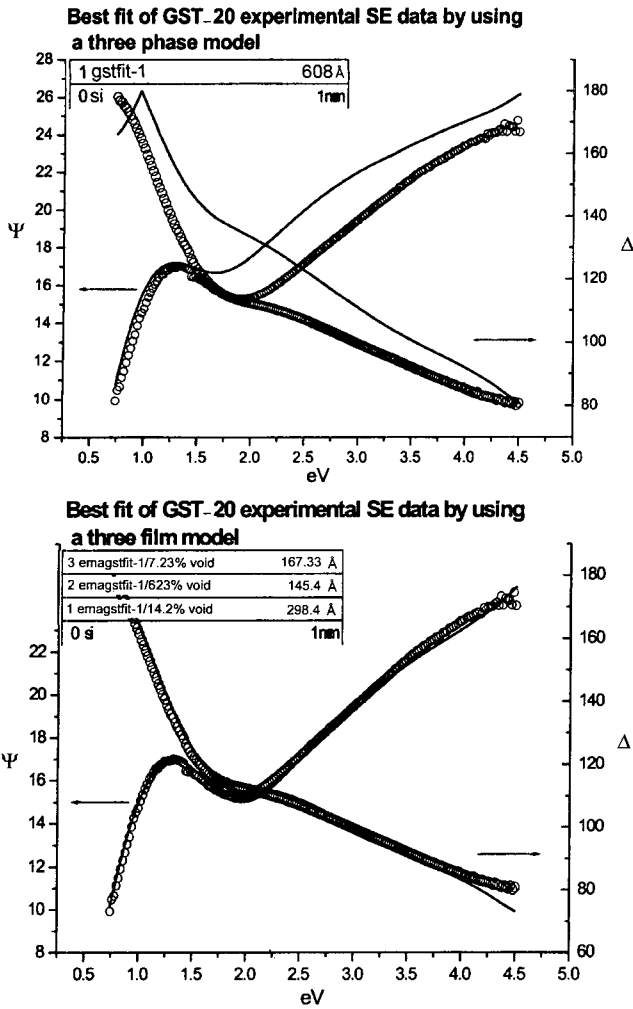


그림 5. 600 Å 정도로 두껍게 증착된 GST₂₀ 박막을 분광타원계로 측정하여 단층박막으로 모델을 설정하고 최적맞춤한 결과와 3박막모델을 설정하고 최적맞춤한 결과(위).

해당한다. 3개 층으로 나뉜 각 박막의 두께와 미소 빈공간의 분율은 최적맞춤 모델링을 통해 구하였다. GST₂₀ 시료에 대해 최적맞춤 모델링분석을 수행한 결과 박막층의 평균 밀도분포를 구할 수 있었다. 그림 5(아래)에서와 같이 단층으로 모델을 설정했을 때에 비해 월등히 우수하게 맞추어지는 분광타원곡선으로써 이 평균밀도분포의 타당성을 확인할 수 있다.

빈공간(void)은 물질이 존재하지 않음을 의미하는데 여기에서 미소 빈공간은 박막의 조밀도가 감소하는 정도를 나타낸다. 3 박막모델에 의한 첫 번째 층은 -14.2%의 빈공간을 가지고 있는데(두께는 298.4 Å) 이는 기준으로 하고 있는 GST₁₄ 박막보다 밀도가 높다는 것을 의미한다. 마찬가지로 두 번째 층의 경우 62.3%의 빈공간을 나타내고 있는데(두께는 146.4 Å) 이 층은 밀도가 상당히 낮다는 것을 보여준다. 최상층의 빈공간 분율은 7.2%으로 나타났다(두께는 167.3 Å). 이상과 같은 분광타원분석 결과는 GST₂₀ 박막이 밀소-중의 순으로 밀도분포를 가지며 성장한다는 것을 나타내고 있다. GST₂₀ 박막의 초기밀도가 GST₁₄ 보다 14% 정도 높은 것은 금속박막의 핵형성 후 성장 및 응집 과정을 생각하면 정

GST deposit data comparison (Sim vs Exp)

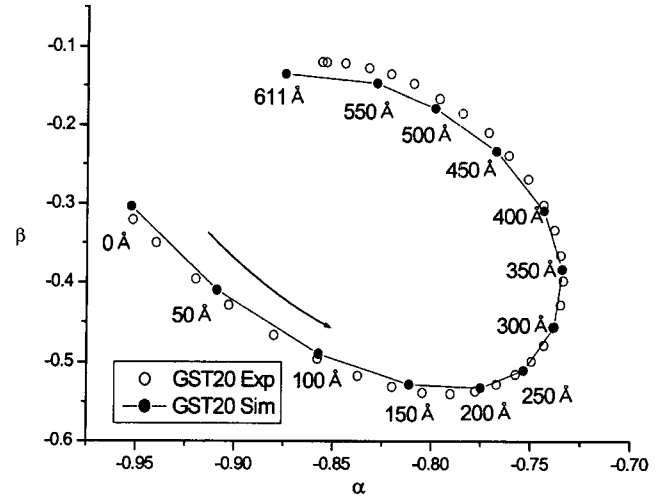


그림 6. 성장에 따른 GST 박막의 두께와 밀도변화를 고려하여 계산한 α, β 성장곡선을 측정된 GST₂₀ 성장곡선과 비교한 그래프.

성적으로 이해된다. 응집이전의 상태인 초기 성장 단계에서는 박막의 평균 밀도가 낮을 수 있으며 박막성장에 따라 응집이 이루어지면 상대적 밀도는 증가하게 된다. 이로부터 얇은 GST₁₄의 평균밀도와 두꺼운 GST₂₀의 조밀한 층이 14% 정도의 밀도차이를 보여주는 것으로 이해된다. 한편 박막의 표면은 표면 미시거칠기의 정도에 따라 평균밀도가 크게 감소하게 된다.^[9,10] GST₂₀ 시료의 경우는 이와 같은 밀소-중의 밀도 분포에 더하여 중간의 밀도를 가지는 상층부가 존재하는 점에서 특이하다고 할 수 있으며 이와 같은 결과는 GST₂₀의 성장곡선을 박막성장 모델에 기초하여 계산된 성장곡선과 비교함으로써도 확인할 수 있다. 성장변수가 달라짐에 따라 정도의 차이는 있지만 이같은 밀소-중 형태의 밀도분포는 본 스퍼터링 챔버에서 제작되는 모든 GST 박막에 공통적으로 관찰되었으며 현재 밀도의 차이가 최소가 되는 성장조건을 탐색중이다. 실제의 박막은 성장방향으로 밀도가 균일하지 않으며 이 밀도분포 자체도 박막이 성장함에 따라 변화하므로 본 연구에서는 성장에 따르는 밀도변화의 핵심내용을 간단한 상수로 표현할 수 있도록 GST 박막성장 모델을 다음과 같이 단순화하였다. 즉 분광타원분석 결과에 기초하여 GST 박막을 3개 층으로 나누어 생각하고 각 층의 밀도는 각각 -14.2%, 62.3% 그리고 7.2%로 고정된 다음 각 층의 두께를 변화시켜 성장곡선을 유도하였다. 전체 박막두께는 성장시간에 비례하도록 설정하였다. 이상과 같이하여 구한 측정된 성장곡선과 가장 일치하는 계산된 성장곡선은 그림 6과 같다. 성장에 따르는 박막밀도의 변화를 고려하지 않고 균일한 GST의 두께만을 증가시키며 계산한 성장곡선(그림 4)과 비교하여 보면 밀소-중의 밀도분포를 고려한 GST₂₀의 성장곡선이 측정된 성장곡선과 잘 일치함을 확인할 수 있다(그림 6, 아래). 한편 3박막모델에 의거하여 성장에 따른 두께변화를 구한 결과는 표 1에 정리되어 있다.

이상과 같은 분석으로부터 GST시료의 경우 박막이 성장함에 따라 밀도변화 등으로 인하여 굴절율이 변하더라도 이러한

표 1. 박막 성장에 따른 GST₂₀ 박막의 각 층의 두께 변화(단위 Å)

Total Thickness	1st layer (void -14.1%)	2nd layer (void 62.3%)	3rd layer (void 7.2%)
50	33	17	
100	70	27	3
150	106	36	8
200	138	47	9
250	168	62	10
300	195	80	25
350	212	105	33
400	226	123	51
450	238	142	72
500	263	145.4	97.6
550	285	145.4	120.6
611	298.4	145.4	167.3

밀도 변화를 적당한 다층구조를 통하여 반영한다면 in-situ 타원계를 이용하여 측정된 성장곡선과 전산시뮬레이션으로 구한 성장곡선을 비교함으로써 성장곡선을 재현시킬 수 있고 따라서 성장과정, 예를 들면 박막의 두께 등을 정확하게 제어할 수 있음을 확인할 수 있다. 한편 분광타원 데이터를 분석하고 in-situ 성장곡선을 맞추는 과정에서 도출된 박막다층구조의 유일성에 관한 검토는 매우 중요하다. 즉 다른 다층박막구조를 가지면서도 동일한 맞춤 결과를 주는 박막모형의 개연성은 항상 존재하므로 이에 관한 철저한 검토는 필수적이다. 그러나 현재 다른 박막구조로써 대등한 결과를 보여주는 다층박막구조는 발견되지 않고 있으며 한편으로는 새로운 구조를 찾는 연구는 본 연구결과로써 제시되는 모델을 검증할 상보적인 측정방법과 병행하여 추진되어야 할 것으로 생각된다.

광기록 매체용 GST 박막의 최적 두께는 200 Å로 알려져 있다.^{14,7)} 그림 4와 그림 6의 성장곡선들을 비교하면 250 Å 미만의 초기성장 단계에서는 성장곡선은 박막의 평균밀도를 사용하면 박막의 두께에 주로 영향을 받음을 확인할 수 있다. 따라서 200 Å의 GST 박막은 밀도분포를 단순화시킨 균일 박막 성장모형을 사용하더라도 두께를 정확하게 제어할 수 있는 것으로 판단된다. 두께제어를 위해서 in-situ 타원계에서 직접 측정되는 물리량인 푸리에계수 α 와 β 의 목표값을 먼저 계산하였다. 단결정 실리콘기층 위에 200 Å 두께의 GST 박막이 있는 시료의 타원상수 Δ 와 Ψ 를 계산하고 그 값에 대응하는 식 (2)와 식 (3)의 α 와 β 를 역으로 계산하였다. 632.8 nm 파장에서 GST(200 Å)/c-Si의 α 와 β 의 목표값은 각각 $\alpha = -0.779$, $\beta = -0.556$ 이다.

박막의 증착환경을 일정하게 유지하고 실시간으로 박막이 증착되는 동안 in situ 타원계를 사용하여 측정된 α 와 β 의 값이 위에서 계산한 α 와 β 의 목표치와 동일하게 되는 순간에 스퍼터링을 중지시켰다(그림 7). 이와 같이 제작된 GST₁₇ 박막의 분광타원 데이터를 3상계모델에 따라 모델링 분석하여 구한 박막의 두께는 199.9 Å로 나타나(그림 8) 목표로 하는 두께인 200 Å으로 정확하게 제어되었음을 보여주었다.

4.2. ZnS-SiO₂ 박막

ZnS-SiO₂ 유전박막은 분광타원법을 사용하여 ex-situ 분석하

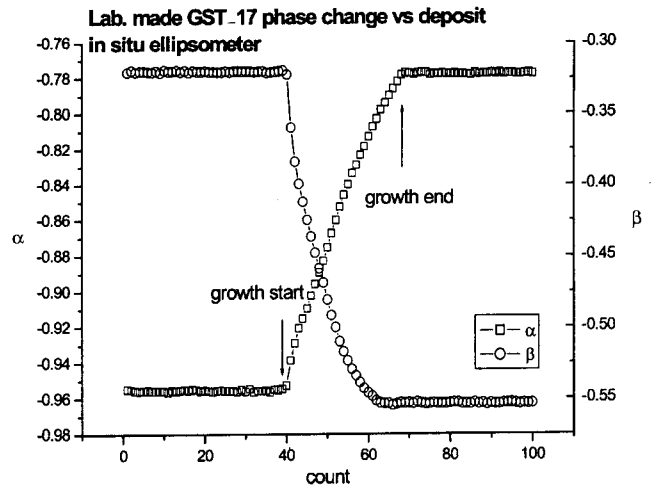


그림 7. 증착되는 동안 GST 박막의 성장과정을 in-situ 타원계를 이용하여 실시간으로 모니터링하고 원하는 두께에 도달하였을 때 성장을 중지시킨 과정을 보여주는 α 와 β 의 그래프.

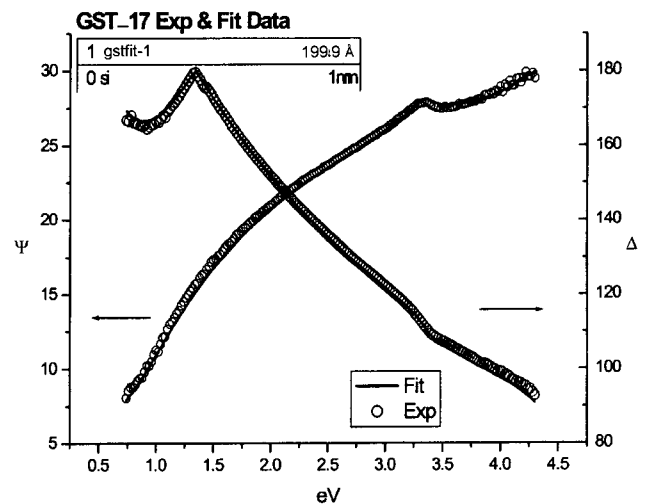


그림 8. GST(200 Å)/c-S 시료에 대해 계산된 α 와 β 의 값을 가지도록 박막성장이 제어된 GST₁₇ 시료의 분광타원 그래프와 최적맞춤 그래프의 비교.

였다. ZnS-SiO₂ 박막은 균일한 밀도분포를 보여주며 ZnS와 SiO₂의 혼합비가 주어지면 유효매질 이론을 사용하여 굴절율을 구할 수 있으며 ZnS와 SiO₂의 혼합비가 알려져 있지 않을 때에는 혼합비와 두께를 모델링 방법으로 동시에 결정할 수 있다.^{11,12)} 광흡수 박막을 포함하여 비정질 박막시료의 경우 Forouhi와 Bloomer의 양자역학적 진동자 모델^{13,5)}을 이용하여 굴절율과 두께를 동시에 구한 다음 기준데이터 등을 사용하여 구한 결과와 비교하는 방법도 많이 사용된다. 본 연구에서는 3상계모델을 사용하고 양자역학적 진동자모델을 사용하여 ZnS-SiO₂의 굴절율을 표현하였다. 단일 진동자모델에 대응되는 굴절율과 소광계수의 분산식은 각각 아래 식들과 같으며 모델링 분석에서는 이 분산계수들과 박막의 두께를 결정하게 된다.

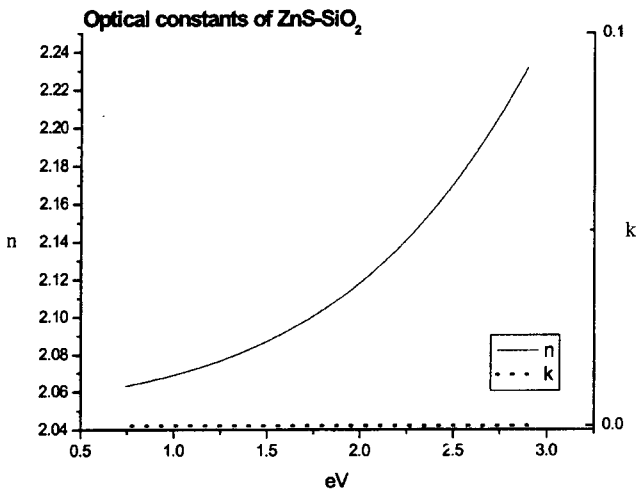
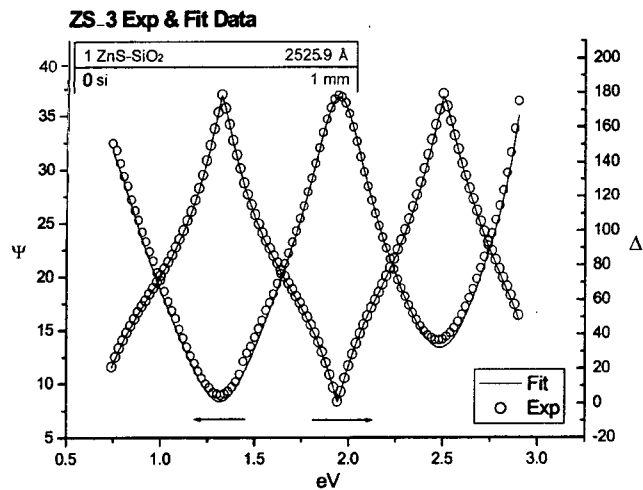


그림 9. ZnS-SiO₂의 박막을 양자역학적 진동자 모델을 사용하여 0.74~2.9 eV의 파장영역에 대해 최적맞춤한 결과(위)와 박막의 굴절율 분산(아래).

$$n(E) = n_{\infty} + \frac{B'E + C'}{E^2 - BE + C} \quad (4a)$$

$$k(E) = \frac{A(E - E_g)^2}{E^2 - BE + C} \quad (4b)$$

단

$$B' = \frac{A(-B^2 + 2E_g B - 2E_g^2 + 2C)}{\sqrt{4C - B^2}} \quad (4c)$$

$$C' = \frac{A[B(E_g^2 + C) - 4E_g C]}{\sqrt{4C - B^2}} \quad (4d)$$

이상과 같은 방법으로 구한 박막의 굴절율 분산 그래프와 최적맞춤 타원해석 그래프들은 그림 9에 보여진 바와 같다. 타원상수 그래프들이 잘 일치하는 것으로부터 균일한 박막을 고려한 3상계 모델이 적당함을 확인할 수 있다.

ZnS-SiO₂의 두께를 제어하기 위해서 632.8 nm의 파장, 71도의 입사각에서 두께에 따른 ZnS-SiO₂의 타원상수 Ψ, Δ 및

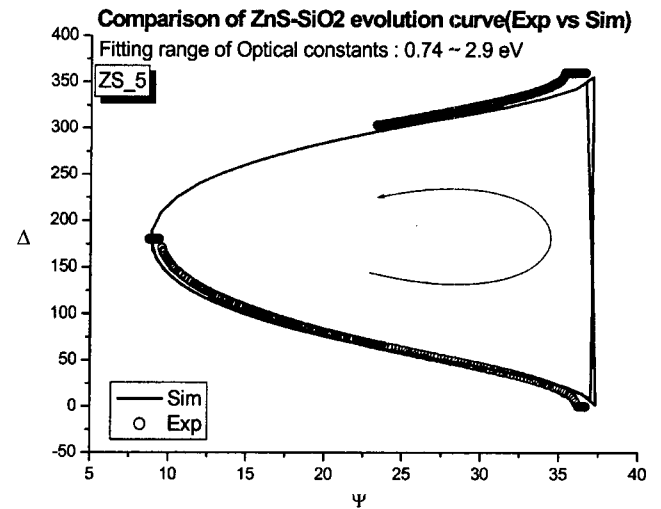


그림 10. ZnS-SiO₂ 박막의 두께 증가에 따르는 ZnS-SiO₂/c-Si 시료의 Ψ, Δ 성장곡선 비교.

α, β 의 성장곡선을 계산하였다. 그림 10에서는 ZnS-SiO₂의 두께가 1200 Å 정도가 될 때까지 in-situ 타원계를 사용하여 실시간으로 측정된 성장곡선을 계산으로 구한 성장곡선과 비교하였다. 두 성장곡선이 잘 일치하는 것은 ZnS-SiO₂ 박막은 3상계 모델로 나타낼 수 있음을 보여준다. Δ가 0도 또는 180도 인 유전영역에서 보이는 차이는 회전검광자 방식의 광량측정 타원계의 측정오차에 기인한 것이다. 이와 같이 ZnS-SiO₂는 성장에 따른 굴절율의 변화를 보여주지 않으므로 두께가 200 Å이나 1400 Å에 관계없이 동일한 굴절율을 이용하여 타원상수를 계산하고 측정되는 성장곡선을 계산된 성장곡선과 일치시킴으로써 두께를 정밀하게 제어할 수 있음을 알 수 있다.

4.3. ZnS-SiO₂/GST/ZnS-SiO₂ 박막

앞에서 구한 ZnS-SiO₂과 GST의 굴절율을 이용하여 원하는 다층구조를 가진 박막이 순차적으로 입혀질 때 예상되는 타원상수의 성장곡선을 계산하였다. 성장곡선은 타원상수인 Ψ, Δ의 형태로 2차원 평면상에 나타내었다. 계산된 수치들은 50 Å의 간격으로 표 2에 정리하였다. ZnS-SiO₂과 GST를 각각의 단층박막을 성장시킬 때와 같은 박막성장환경을 유지하며 ZnS-SiO₂|GST|ZnS-SiO₂의 순서대로 다층박막시료를 제작하였다. 계산으로 구한 성장곡선과 일치하는 성장곡선이 구해질 수 있도록 각 단층박막의 성장 끝점을 정확하게 추적하였다. 그림 11에서 보는 바와 같이 성장을 제어하며 측정된 성장곡선들은 목표로 하는 성장곡선과 매우 잘 일치한다. 두 성장곡선의 차이는 ZnS-SiO₂ 단층 박막의 경우와 마찬가지로 Δ가 0도 또는 180도인 영역에서 두드러지며 이는 회전검광자 방식의 광량측정 타원계를 사용하여 유전영역의 시료를 측정할 때 나타나는 기기의 고유특성에 기인한다.

마지막으로 성장과정을 제어하며 제작한 ZnS-SiO₂(1400 Å)|GST(200 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å)|c-Si 다층박막시료를 분광타원법으로 분석한 결과를 그림 12에 나타내었다. 최적맞춤한 분

표 2. 박막 성장에 따른 ZnS-SiO₂(1400 Å)|GST(200 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å)|c-Si 다층박막 시료의 타원상수 계산치(기층: c-Si, 파장: 632.8 nm, 입사각: 71도).

thickness (Å)	Ψ	Δ (0~360)	$\tan \Psi$	$\cos \Delta$	α	β
0	8.852	178.96	0.155	-0.999	-0.952	-0.304
50	9.200	158.60	0.161	-0.931	-0.948	-0.293
100	10.109	140.30	0.178	-0.769	-0.938	-0.265
150	11.420	124.80	0.202	-0.570	-0.921	-0.221
200	12.981	111.85	0.230	-0.372	-0.899	-0.162
250	11.792	122.93	0.208	-0.543	-0.916	-0.217
300	12.146	133.50	0.215	-0.688	-0.911	-0.283
350	13.107	140.04	0.232	-0.766	-0.897	-0.338
400	14.375	142.83	0.256	-0.796	-0.876	-0.383
450	15.537	128.79	0.278	-0.626	-0.856	-0.323
500	16.942	116.37	0.304	-0.444	-0.830	-0.247
550	18.498	105.41	0.334	-0.265	-0.798	-0.159
600	20.147	95.68	0.366	-0.099	-0.762	-0.064
650	21.855	86.96	0.401	0.053	-0.722	0.036
700	23.616	79.03	0.437	0.190	-0.679	0.139
750	25.451	71.71	0.475	0.313	-0.630	0.243
800	27.403	64.82	0.518	0.425	-0.576	0.347
850	29.539	58.15	0.566	0.527	-0.513	0.452
900	31.943	51.37	0.623	0.624	-0.440	0.560
950	34.691	44.05	0.692	0.718	-0.352	0.672
1000	37.777	35.50	0.775	0.814	-0.249	0.788
1050	40.949	24.84	0.867	0.907	-0.140	0.898
1100	43.502	11.41	0.949	0.980	-0.052	0.978
1150	44.408	355.80	0.979	0.997	-0.020	0.997
1200	43.153	340.30	0.937	0.941	-0.064	0.939
1250	40.341	327.06	0.849	0.839	-0.161	0.828
1300	37.001	316.51	0.753	0.725	-0.275	0.697
1350	33.795	307.94	0.669	0.614	-0.381	0.568
1400	30.941	300.46	0.599	0.507	-0.471	0.447
1450	28.435	293.42	0.541	0.397	-0.546	0.332
1500	26.195	286.36	0.491	0.281	-0.610	0.223
1550	24.143	278.97	0.448	0.156	-0.665	0.116
1600	22.219	271.02	0.408	0.017	-0.714	0.012
1650	20.390	262.29	0.371	-0.134	-0.757	-0.087
1700	18.652	252.55	0.337	-0.299	-0.795	-0.181
1750	17.030	241.57	0.306	-0.476	-0.828	-0.266
1800	15.582	229.12	0.278	-0.654	-0.855	-0.338

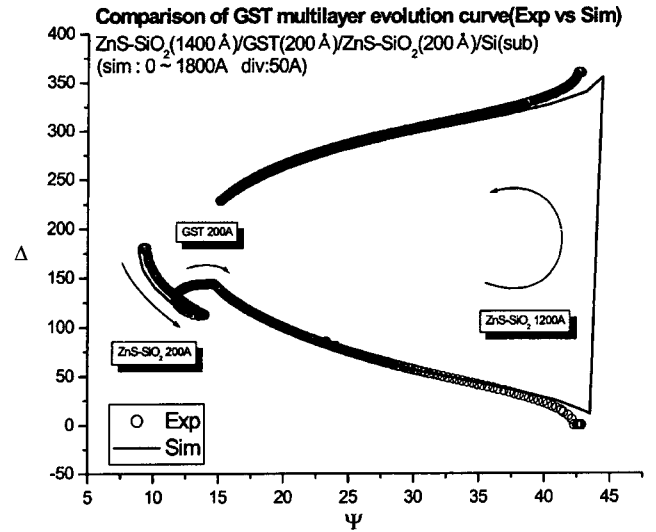


그림 11. ZnS-SiO₂(1400 Å)|GST(200 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å)|c-Si 시료를 순서대로 성장시킬 때의 Ψ, Δ 성장곡선.

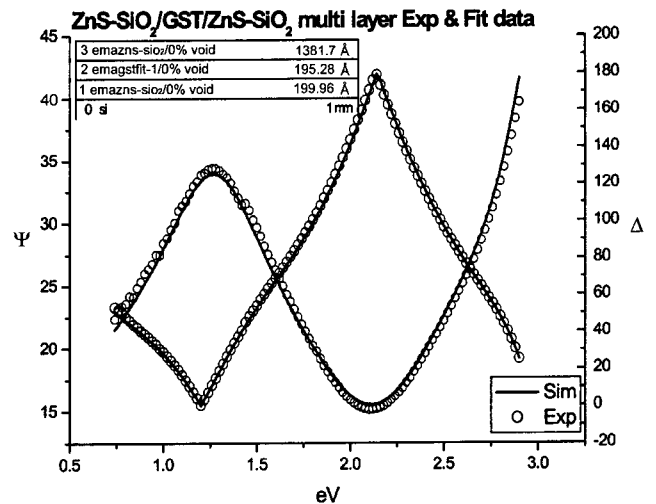


그림 12. ZnS-SiO₂|GST|Zn-SiO₂ 다층박막을 순서대로 두께를 제어하며 성장시킨 후 0.74~2.9 eV 파장영역에 대해 최적맞춤하여 얻은 분광타원그래프를 측정된 분광타원그래프와 비교한 그림.

광타원그래프와 측정으로 구한 그래프가 매우 잘 일치하며 각 박막층의 두께는 ZnS-SiO₂(1382 Å)|GST(195 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å)으로 나타났다. 이 결과는 다층박막의 전체 두께가 증가할수록 그리고 상부 박막층으로 갈수록 목표로 하는 두께와는 차이가 커짐(0 Å, 5 Å, 18 Å)을 보여주고 있으나 전체적으로는 박막두께의 오차가 1.5% 이내로 제어되어 매우 양호한 결과를 보여주는 것으로 해석된다.

V. 결 론

632.8 nm 파장에서 작동하는 in-situ 타원계를 사용하여 Ge₂Sb₂Te₅(GST)를 광기록매체로 하는 광디스크의 최적구조인 ZnS-SiO₂(1400 Å)|GST(200 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å) 다층구조를

효과적으로 구현하였다. GST 기록층과 ZnS-SiO₂ 유전층의 단층 박막에 대하여 각각 굴절율 기준값을 얻은 후 두께증가에 따른 타원상수의 성장곡선과 비교하여 박막의 두께를 정밀하게 제어하였다.

GST의 경우 박막의 두께증가에 따라 밀도가 밀도-중의 순으로 변화하고 굴절율은 이 밀도변화를 반영하여 변화하였으나 200 Å 이하의 경우는 밀도에 따른 성장곡선의 변화는 뚜렷하지 않았다. 이에 반해 ZnS-SiO₂의 경우 박막의 밀도 또는 굴절율은 박막두께와는 무관한 것으로 나타났다.

ZnS-SiO₂(1400 Å)|GST(200 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å)의 순서로 제어하며 성장시킨 다층박막의 성장곡선은 계산된 성장곡선과 일치하였으며 분광타원 분석결과 박막의 두께는 목표치와 1.5%의 오차 범위내에서 일치함을 확인하였다.

결론적으로 in-situ 타원계를 이용해 박막의 정밀한 두께 제어가 가능하다는 것을 확인하였고 본 실험에서 제작한 GST 다층박막 외에도 여러 다층박막의 정밀한 두께 제어에 in situ 타원계가 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예측하였다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 연구비 지원(KRF-2000-015-DP0172)을 받아 이루어 졌습니다.

참고문헌

- [1] 김수경, 김진홍, 이승엽, 최영진, 정보저장기기의 기초와 응용(홍릉과학출판사, 2002).
- [2] T. Ide, M. Suzuki, and M. Okada, "Spectroscopic Ellipsometry Studies on Optical Constants of Ge₂Sb₂Te₅ Used for Phase Change Optical Disks," *Jpn. J. Appl. Phys.*, 34, L529 (1995).
- [3] 김상준, 김상열, 서훈, 박정우, 정태희, "분광타원해석법을 이용한 Ge₂Sb₂Te₅의 복소굴절율 결정," 한국광학회지, 제8권, 제6호, p. 445, 1997.
- [4] 김도형, 김상준, 김상열, 안성혁, "뿡기룩매체용 Ge-Sb-Te 다층박막의 광학적 특성 및 열전달 특성," 한국광학회지, 제12권 제5호, p. 394, 2001.
- [5] 김상열, 타원법(이주대학교 출판부, 2000).
- [6] 김상준, 방현용, 김상열, "보급형 He-Ne 타원해석기의 제작과 TiO₂ 박막 유효밀도 변화의 in situ 측정," 한국진공학회지, 제8권, 제4-1호, p. 432, 1999.
- [7] X. S. Miao, T. C. Chong, Y. M. Huang, K. G. Tan, and L. P. Shi "Dependence of Optical Constants on Film Thickness of Phase-Change Media," *Jpn. J. Appl. Phys.*, 38(3B), p. 1638, 1999.
- [8] R. Yokota, "Electronic dielectric constants of crystalline and amorphous GeSb₂Te₄ and Ge₂Sb₂Te₅ semiconductors," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 28, p. 1407, 1989.
- [9] J. E. Mahan, *Physical vapor deposition of thin films* (A Wiley-Interscience Publication, 2000).
- [10] D. L. Smith, *Thin-film deposition* (McGraw-Hill, Inc., 1997).
- [11] K. Vedam and S. Y. Kim, "Simultaneous determination of refractive index, its dispersion and depth-profile of magnesium oxide thin film by spectroscopic ellipsometry," *Appl. Opt.* vol. 28, no. 14, p. 2691, 1989.
- [12] S. Y. Kim, "Simultaneous determination of refractive index, extinction coefficient, and void distribution of titanium dioxide thin film by optical methods," *Appl. Opt.* vol. 35, no. 34, p. 6703, 1996.

Real time control of the growth of Ge-Sb-Te multi-layer film as an optical recording media using in-situ ellipsometry

Jong Hyouk Kim, Hak Chul Lee, Sang Jun Kim, Sang Youl Kim[†]

Sung Hyuck Ahn, and Young Hee Won

Ajou University, Suwon 442-749, KOREA

[†]E-mail: sykim@madang.ajou.ac.kr

(Received March 26, 2002 ; revised manuscript received May 31, 2002)

Using an in-situ ellipsometer, we monitored the growth curve of optical recording media in real time. For confirmation of the thickness control using in-situ ellipsometry, we analyzed the deposited multi-layer sample made of Ge-Sb-Te alloy film and ZnS-SiO₂ dielectric films using an exsitu spectroscopic ellipsometer. The target material in the first sputtering gun is ZnS-SiO₂ as the protecting dielectric layer and that in the second gun is Ge₂Sb₂Te₅ as the recording layer. While depositing ZnS-SiO₂, Ge₂Sb₂Te₅, and ZnS-SiO₂ films on c-Si substrate in sequence, we measured Ψ , Δ in real time. Utilizing the complex refractive indices of Ge₂Sb₂Te₅ and ZnS-SiO₂ obtained from the analysis of spectroscopic ellipsometry data, the evolution of ellipsometric constants Ψ , Δ with thickness is calculated. By comparing the calculated evolution curve of ellipsometric constants with the measured one, and by analyzing the effect of density variation of the Ge₂Sb₂Te₅ recording layer on ellipsometric constants with thickness, we precisely monitored the growth rate of the Ge-Sb-Te multilayer and controlled the growth process. The deviation of the real thicknesses of Ge-Sb-Te multilayer obtained under the strict monitoring is post confirmed to be less than 1.5% from the target structure of ZnS-SiO₂(1400 Å)|GST(200 Å)|ZnS-SiO₂(200 Å).

Classification codes : OM.010, OM.020, SM.020.