

## 초해상 광기록 $Ge_2Sb_2Te_5$ 박막의 고온광물성 연구

이학철 · 최중규 · 이재훈 · 변영섭 · 류장위 · 김상열<sup>†</sup>

아주대학교 분자과학기술학과

Ⓣ 442-749 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지

김수경

나노스토리지

Ⓣ 121-270 서울특별시 마포구 상암동 E3-2 DMC 산학협력연구센터 6층 606호

(2007년 8월 13일 받음, 2007년 10월 16일 수정본 받음)

마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 광기록 매체인 GST 박막과 보호층인  $ZnS-SiO_2$  박막 또는  $Al_2O_3$  박막을 c-Si 기판위에 증착한 뒤 in-situ 타원계를 사용하여 상변화 광기록층인 GST 시료의 타원상수 온도의존성을 실시간으로 측정할 결과 300°C 이상의 온도에서 GST의 고온 타원상수는 가열 환경 및 보호층의 종류에 따라 큰 차이를 보여주었다. 가열 환경 및 보호층의 종류에 따라 GST의 고온 타원상수가 달라지는 원인인 1~2시간의 긴 승온시간을 줄이기 위해 Phase-change Random Access Memory(PRAM) 기록기를 사용하였고 수십 ns 이내의 짧은 시간내에 순간적으로 GST 시료를 가열 및 냉각하였다. GST 층이 손상되지 않고 결정화 및 고온 열처리가 되는 PRAM 기록기의 기록모드와 레이저출력 최적조건을 찾았으며 다층박막 구조에서 조사되는 레이저 에너지가 광기록층인 GST에 흡수되는 양과 이웃하는 층으로 전파되는 양을 열확산방정식으로 나타내고 이를 수치해석적으로 풀어 레이저출력과 GST 박막의 최고 온도와의 관계를 구하였다. 지름이 1  $\mu m$  정도인 레이저스폿을 대략  $0.7 \times 1.0 \text{ mm}^2$ 의 면적내에 촘촘히 기록한 다음 고온 열처리된 GST 시료의 분광타원데이터를 500  $\mu m$ 의 빔 크기를 가지는 마이크로스폿 분광타원계를 사용하여 구하고 그 복소굴절률을 결정하였다. In-situ 타원계를 사용할 때에 가열 환경 보호층 물질의 영향을 크게 받은 GST의 고온 복소굴절률은 PRAM 기록기를 사용하였을 때에는 가열환경이나 보호층의 종류에 무관하게 안정된 값을 보여주었다. Atomic Force Microscope(AFM)과 Scanning Electron Microscopy(SEM)을 통해 관찰한 GST 다층박막시료의 고온 열처리 전후 표면미시거칠기 변화도 PRAM 기록기를 사용할 때에는 in-situ 타원계를 사용할 때보다 1/10 정도의 크기를 보여주어 PRAM 기록기와 분광타원계를 사용하여 결정한 GST의 고온 광학물성의 신뢰성을 확인하여 주었다.

주제어 : GST, PRAM, In-situ ellipsometer, Phase change optical recording, Spectroscopic ellipsometry, High-temperature optical properties

### I 서 론

상변화 광기록 물질인  $Ge_2Sb_2Te_5$ (GST)는 비정질과 결정질로의 가역적 상변화특성을 가지고 있으며 GST의 이러한 가역적 상변화 특성을 이용하여 광학적으로 정보를 기록(writing)하고 소거(erasing)한다.<sup>[1]</sup> 정보 기록밀도를 향상시키는 방법으로 근접장 광기록 방식이 있으며 이 방식을 기록매체 내에서 구현시키는 방법으로 1997년 Tominaga에 의해 초해상 근접장(Super-RENS) 기술이 소개된 이래<sup>[2]</sup> 초해상 근접장 광기록 메커니즘은 많은 연구자들에 의해 탐구되고 있다. 이 메커니즘을 이해하기 위해서는 광기록매체인 GST의 고온 광학특성을 정확하게 파악해야 하는데 금속합금 물질인 GST의 복소굴절률을 높은 온도에서 측정하는 대표적인 방법으로 in-situ 타원계를 사용한 측정 및 분석 방법이 있다.<sup>[3,4]</sup> 그러나 일반적인 in-situ 타원계를 사용하여 광기록 매체인 GST의 고온 광학상수를 결정하는 데에는 다음과 같은 어려움이 있다. 즉 보호되지 않은 GST는 가열 환경(진공 또는

는 기체)에 따라 광학특성이 큰 영향을 받으며 유전막으로 보호된 GST는 가열할 때 보호막으로 사용되는 유전체의 종류에 따라 다른 온도의존성을 보여준다. 실제의 광디스크에서는 보이지 않는 이 같은 보호막의 영향은 시료 가열판을 사용하는 일반적인 in-situ 타원계에서는 수 분간에 걸쳐 매우 천천히 시료를 가열하는 데 반해 실제의 광디스크 기록 환경에서는 시료를 수 마이크로 크기의 영역에서 수십 ns 내에 가열처리하기 때문이다. 따라서 일반적인 in-situ 타원계를 사용하여서는 실제의 광디스크와 같은 기록 환경에서의 GST의 고온 광학특성을 정확하게 결정할 수 없다. Time Resolved Ellipsometer(TRE) 방법을 이용하면 수십 ns동안 상변화하는 과정을 수 ns 안에 관찰할 수 있지만<sup>[5,6]</sup> 이 방법으로는 수 마이크로 크기에서 측정이 어렵다. 본 연구에서는 수십 ns의 시간 간격 내에 수 마이크로의 크기를 가지는 국소적인 면적에서 광학정보를 기록할 수 있는 Phase-change Random Access Memory(PRAM) 기록기를 사용하여 고온에서의 복소굴절률을 측정할 수 있도록 시료를 준비하고 분광 타원계를 사용하여 기록전과 기록후의 GST의 복소굴절률을 측정하고 비교하였다. 또한 AFM을 사용하여 고온 복소굴절률과 함께 GST 시료의 표면구조변화를 조사하였다.

<sup>†</sup> E-mail: sykim@ajou.ac.kr

## II. 시료제작 장비 및 측정 장비

### 2.1. 스퍼터링 챔버

시료 제작에 사용한 마그네트론 스퍼터링 챔버((주)우신크라이오백)에서는 동시에 서로 다른 시료를 증착시킬 수 있는 세 개의 스퍼터링 건이 부착되어 있고, 기층의 온도를 0도부터 800도까지 조절할 수 있으며 로터리 펌프와 터보펌프를 사용하여 고진공 상태를 유지시킨다. 온도를 측정하기 위해서 사용된 열전쌍 온도센서는 기판 아래 위치시켰다. 스퍼터링 건의 전원 공급장치는 RF와 DC를 선택적으로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 ZnS-SiO<sub>2</sub> 타겟, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 타겟, 그리고 GST 금속합금타겟을 주로 사용하였으며 전원공급을 RF를 선택하였다. 또한 실시간으로 박막의 성장과정을 모니터링 할 수 있도록 in-situ 타원계를 시료장착대 기준으로 각각 70°가 되도록 챔버 양쪽에 설계된 관측통로(view port)에 장착하였다.

### 2.2. In-situ 타원계 및 분광 타원계

본 연구에서 사용된 in-situ 타원계는 Hauge에 의해 제안되

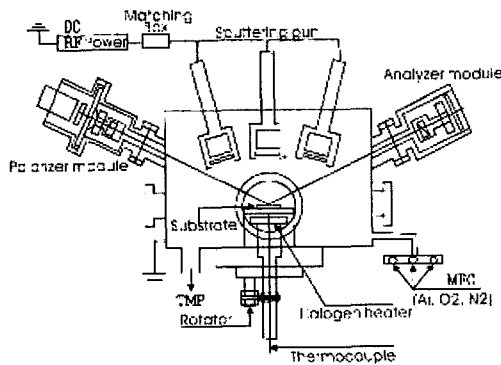


그림 1. In-situ 타원계가 장착된 스퍼터링 챔버. 632.8 nm의 He-Ne 레이저는 편광자를 통과한 후 선편광 상태로 시료면에 반사하여 타원편광 상태가 된다. 검광자를 통과한 빛을 검광자의 회전각에 따른 세기로 측정하여 실시간으로 편광 상태를 구하게 된다.

고 Aspnes등에 의해 분광화가 이루어진 회전검광자 방식으로 광원-편광자-시료-검광자-광검출기로 구성된 가장 대표적인 구조를 가지고 있다((주)엘립소테크놀러지, Elli-633-C, 그림 2(a)). He-Ne 레이저(파장은 632.8 nm)를 광원으로 사용하고 있고 편광자의 방위각을 대개 45°로 고정시킨 상태에서 검광자를 정속회전시킨다. 평판형 검광자를 사용하여 검광자의 회전축과 편광판을 수직으로 장착하였다. 편광자의 방위각은 스텝 모터를 사용하여 0.018°로 정밀하게 제어할 수 있다. 제작된 시료의 광학상수 및 두께 등을 결정하기 위하여 분광타원계(Jobin-Yvon UVISEL, 그림 2(b))를 사용하였다. 분광타원계의 입사각은 70°로 고정하였고, 분광측정의 범위는 0.74~4.3 eV으로 선택하였다.

### 2.3. PRAM Static Tester

광디스크에서와 같이 레이저를 이용하여 정보를 기록하며 기록전, 후의 고해상도 이미지를 분석할 수 있는 PRAM 기록기(나노스토리지, PST-1, 그림 3)를 사용하였다. PRAM 기록기는 Spot 모드, Line 모드 또는 Dense-spot 모드에서 구동시킬 수 있으며 기록 위치에서 상변화된 광기록 시료의 반사율 차이 및 이미지를 직접 관찰/측정 할 수 있게 한다. 분광 타원 측정 및 실험을 하기 위해 PRAM 기록기에서 조밀한 간격으로 수십 ns 동안 기록하여 넓은 면적을 상변화시켰다. 레이저 빔의 기록 파워, 기록 시간과 파형을 조절하면서 최적의 기록조건을 확인한 뒤 그 최적의 기록조건으로 시료에 일정하게 기록하였다.

## III. 시료준비 및 측정

광기록 박막인 GST 박막과 보호층인 ZnS-SiO<sub>2</sub> 박막 또는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막은 마크네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 증착하였다. RF 출력과 Ar 기체 흐름속도는 각각의 50 W와 30 sccm 로 고정하였다. GST 박막의 두께는 45 nm, ZnS-SiO<sub>2</sub> 박막과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막의 두께는 각각 80 nm 정도로 Si(100) 기판 위에 증착하였다.

GST 단일 박막시료와 유전층으로 보호된 GST 박막의 타

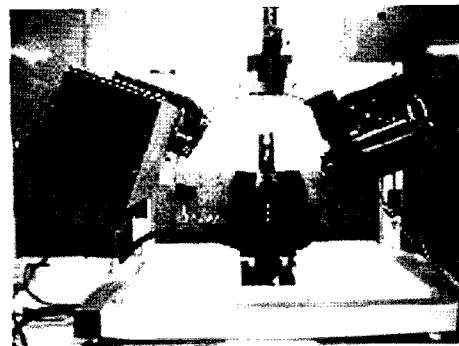
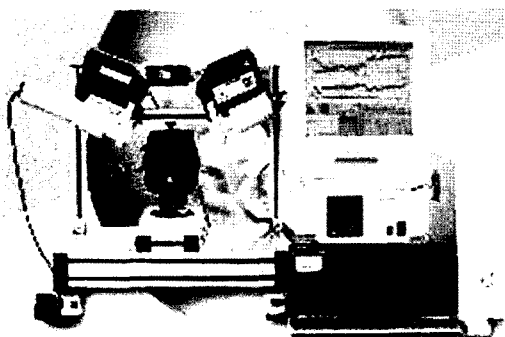


그림 2. 고온 광물성을 in situ 실시간 측정할 수 있도록 본 연구실에서 자체제작한 회전검광자 방식의 단파장(633 nm) 타원계(a) 및 고온에서 분광타원측정을 할 수 있도록 기존의 위상변조 분광타원계(b) (Jobin Yvon, UVISEL)에 heating chamber를 장착한 사진.

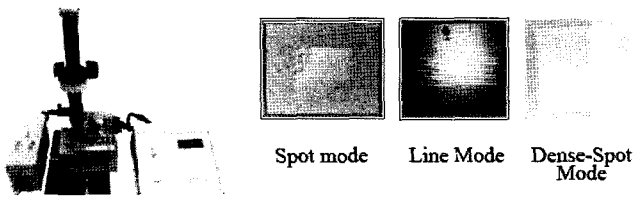


그림 3. PRAM 기록기 및 PRAM 기록기의 3가지 mode와 기록된 모양. PRAM 기록기를 사용하여 광기록 시료상에서 임의의 지점을 지정하고 시료의 조건에 맞는 다양한 기록조건과 기록모드를 설정하고 기록 및 소거 실험을 할 수 있다.

원상수( $\alpha$ ,  $\beta$ )의 온도의존성을 가열 환경을 바꾸어 가며 633 nm 파장에서 구동하는 in-situ 타원계를 사용하여 온도의 함수로 실시간으로 측정하였다. 온도는 분당 10도의 비율로 증가시켰으며 측정하는 레이저빔의 크기는 지름이 1 mm이다. 또한 보호층으로 보호된 GST박막의 고온 복소굴절률을 결정하기 위해 in-situ 타원계를 이용하여 선택한 온도까지 heating cell로 위에서와 같이 분당 10도의 비율로 가열한 후 마이크로 광원장치가 부착된 분광 타원계를 사용하여 측정 및 분석하였다. 한편으로 실제 광기록 디스크환경에서의 GST의 고온 복소굴절률을 구하기 위하여 유전막으로 보호된 GST 박막을 PRAM 기록기를 이용하여 1~2 마이크로 크기에서 수십 ns 동안 순간가열, 냉각시켰다. PRAM 기록기를 사용할 때 레이저의 펄스시간은 300 ns, 레이저의 빔의 크기는 지름 1 마이크로미터로 하였고 레이저의 출력은 5~45 mW까지 3 mW씩 증가시켜가면서 각각의 레이저 출력에서 시료를 상하좌우로 이동시키면서 조밀하게 기록마크를 형성하여 기록된 전체 면적이 1000×700  $\mu\text{m}^2$ 가 되도록 하였다. 마이크로 광원장치가 부착된 분광 타원계를 이용하여 국소 면적에서 기록된 GST의 고온 복소굴절률을 결정하였다. 분광 타원계의 광원의 크기는 시료표면에서 500  $\mu\text{m}$ 가 되도록 조절하였다. GST의 표면구조는 원자힘 현미경(Atomic Force Microscope, AFM)과 주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)를 사용하여 조사하였다.

#### IV. 온도해석

레이저의 출력과 박막에서 흡수하는 에너지로부터 GST 박막의 온도를 계산하기 위해 아래와 같은 관계식들을 사용하였다.<sup>[7]</sup> 레이저 에너지가 흡수되어 열에너지로 변환되면 변환된 열량의 일부는 외부로 확산되며 일부는 온도 상승에 기여한다. 열에너지로의 에너지 변환은 광기록층인 GST에서만 일어나는 것으로 근사하였으며 시료는 보호층/GST/보호층/c-Si 기층으로 된 3층 구조를 상정하였다. 각 층의 두께는 실험방법에서 설정한 바와 같다.

$$P_{abs} = \frac{P_0 \beta^2 \alpha (1 - e^{-\tau})(1 - R)}{\pi} \exp[-\beta^2(x^2 + y^2)] \exp(-\alpha z) \quad (1)$$

$$\nabla^2 T - \frac{1}{\kappa} \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{P_{abs}}{K} \quad (2)$$

표 1. 각 물질의 열확산율, 열전도율과 비열.

	$\kappa$	K	CV
ZnS-SiO <sub>2</sub>	$1.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$	0.58 W/m·K	4.4 J/cm <sup>3</sup> ·K
GST	$1.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$	0.32 W/m·K	2.0 J/cm <sup>3</sup> ·K
c-Si	0.9 cm <sup>2</sup> /s	150 W/m·K	1.63 J/cm <sup>3</sup> ·K

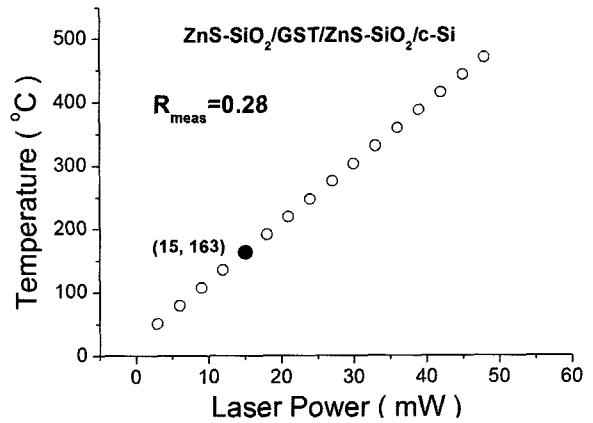


그림 4. 입력 레이저의 출력과 최고점의 온도 간의 준선형관계를 보여주는 그래프.

여기서 z 축은 박막 면에 수직이 되도록 하였으며 x, y 좌표의 원점은 레이저 중심축에 위치시켰으며, z 축의 좌표원점은 GST 박막의 중심이 되도록 설정하였다. 식 (1)에서  $P_{abs}$ 는 GST 박막이 흡수하는 레이저 에너지,  $P_0$ 는 입력하는 레이저의 출력, R은 다층박막 시료의 유효 반사율을 의미한다.  $\alpha(=2.7 \times 10^7 \text{ m}^{-1})$ 와  $\beta(=2.0 \times 10^6 \text{ m}^{-1})$ <sup>[7]</sup>는 각각 레이저 파장에서 GST의 흡수계수와 레이저빔 반지름의 역수이며,  $\nu(=1)$ 은 빔 절단(beam truncation)을 정의하는 상수이다. K와  $\kappa(K/C_V)$ ,  $C_V$ 는 비열)는 각각 열 전도율(thermal conductivity)과 열 확산율(thermal diffusivity)이다. 본 계산에서 사용한 각종 물질의 열 확산율<sup>[8]</sup>, 열 전도율<sup>[9]</sup>과 비열은 표 1과 같다.

반사율을 식 (1)에 대입하여 흡수 에너지  $P_{abs}$ 를 구한 다음 식 (2)에 대입하고 Fourier 적분 방법을 이용하여 이차미분 방정식으로 식 (2)를 풀면 레이저의 조사시간 및 공간위치에 따른 온도의 분포를 구할 수 있다.<sup>[7]</sup> 주어진 레이저 출력에서 온도는 공간적으로는 GST 박막의 중간부근에서 최대값을 가지며 시간적으로는 지수함수꼴로 최대값에 접근한다. 대략 200 ns가 경과하면 최대 온도의 95%를 초과하게 된다.

그림 4는 보호층이 ZnS-SiO<sub>2</sub>[ZnS-SiO<sub>2</sub>(80 nm)/GST(45 nm)/ZnS-SiO<sub>2</sub>(80 nm)/Si]인 다층박막의 경우 온도와 레이저 출력의 관계를 그린 그래프이다. 본 계산에서 구한 온도가 결정화 온도보다 높을 때 비정질 GST가 결정질로 상태를 변화시키는 것으로 근사한다면, 레이저의 출력이 15 mW일 때 계산된 온도는 163°C이므로 레이저의 출력이 15 mW를 넘어야만 GST가 비정질에서 결정질로의 상변화 특성을 나타내는 것으로 파악할 수 있다.

## V. 결과 및 검토

### 5.1. In-situ 타원계를 사용한 GST의 타원상수의 온도의존성 측정

가열 환경을 진공 또는 공기 중으로 바꾸어 가며 Si 기판 위에 증착된 GST 단층박막 시료의 타원상수 온도의존성 측정을 하였다. 공기 중에서는 보호층이 없는 GST 단층박막 시료, ZnS-SiO<sub>2</sub>/GST/ZnS-SiO<sub>2</sub>/c-Si 시료, 그리고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GST/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/c-Si 시료의 각각에 대하여 in-situ 타원계를 사용하여 실시간으로 측정하였고, 측정된 결과 중 타원상수  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 온도의존성은 그림 5에서 보는 바와 같다.

그림 5에서 다음과 같은 중요한 점을 확인할 수 있다. 첫째, 비정질에서 결정질로 상변화가 일어나는 온도는 가열 환경과 보호층의 존재여부에 따라 다르다. 화학량적인(stoichiometric) 조성비를 가지는 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>의 상변화 온도는 165°C<sup>[1]</sup>로 알려져 있는데 비해 본 측정에서 확인된 GST 단층박막의 상변화 온도는 공기 중에서는 187°C, 진공 중에서는 137°C로 가열 환경에 따라 큰 차이를 보였다. 하지만, 보호층이 있을 경우 ZnS-SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에서 각각 170°C와 167°C로 알려진 상변화 온도와 비슷한 결과를 얻었다. 즉 GST 단층박막에서 결정질이 되는 상변화 온도는 가열 환경에 따라 큰 차이를 보여주지만 보호층이 있을 경우에는 안정되며 신뢰할 수 있는 결과를 보여준다. 둘째, 고온에서 타원상수의 변화는 가열 환경은 물론 보호층으로 사용되는 물질에 따라서도 큰 차이를 보여준다. GST 단층박막시료의 경우  $\alpha$ ,  $\beta$  모두 공기 중에서는 완만히 변화다가 녹는점인 607°C<sup>[5]</sup> 근방에서 급격히 바뀌기 시작한다. 이에 비해 진공 환경의 경우 450°C 이상의 온도에서  $\alpha$ ,  $\beta$  모두 크게 변하고 500°C에서 매우 급격한 변화를 보인다. ZnS-SiO<sub>2</sub>나 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 보호된 GST 시료의 경우 온도가 각각 370°C와 400°C를 넘어가면  $\alpha$ ,  $\beta$ 가 크게 변하며, 변하는 모양과 크기도 서로 다르다. 이와 같이 in-situ 타원계를 이용할 경우 가열 환경과 보호층 물질이 GST의 상변화 온도 및 고온 광학특성에 큰 영향을 주는 것으로 확인되어 GST의 고온 복소굴절률을 결정하는 데에 적

절하지 않음을 확인하였다. 이같이 고온에서 타원상수가 가열 환경과 보호층의 종류에 따라 차이를 보이는 이유는 본 in-situ 타원계에서는 시료가 열판 위에 있는 GST 시료를 1~2시간에 걸쳐 가열하기 때문에 GST 합금을 구성하는 물질 중 일부가 기화하거나 산화하며 보호층과도 화학작용을 하기 때문으로 추측된다. 이러한 문제점으로 in-situ 타원계로는 상변화 물질인 GST의 고온 복소굴절률을 측정 및 분석을 하기에 상당히 어렵다고 판단된다.

### 5.2. In-situ 방법을 사용하여 고온열처리한 GST의 복소굴절률 결정

GST의 고온 복소굴절률에 보호층 ZnS-SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 주는 영향을 확인하기 위하여 GST 시료를 heating cell이 있는 in-situ 타원계에서 측정했다. 최종 온도는 각각 150°C, 350°C, 400°C, 500°C와 550°C로 설정하여 가열한 후 냉각시킨 다음 분광 타원계를 사용하여 타원상수  $\Delta$ 와  $\Psi$ 의 스펙트럼을 얻었다. 고온 처리된 GST의 광학상수를 구하기 위해 Si 기판 위에 3층막이 있는 광학모델(보호층/GST/보호층/기판)을 설정한 뒤 수치해석 역방계산방법으로 GST의 복소굴절률을 결정하였다. 보호층은 ZnS-SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이며 이것의 광학상수는 기준데이터를 사용하였고, 미지광학상수인 GST의 복소굴절률  $n$ 과  $k$ 는 Lorentz 분산관계식을 사용하여 3층 모델에 대한 계산 결과와 측정된 스펙트럼을 최적맞춤 하는 과정을 통하여 결정하였다. 결정된 GST의 복소굴절률은 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보면 (a)와 (b)는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 보호된 GST의 복소굴절률이며, (c)와 (d)는 ZnS-SiO<sub>2</sub>로 보호된 GST의 복소굴절률이다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 보호층의 경우에 GST의 복소굴절률은 GST의 비정질 기준데이터( $\square$ ) 및 결정질 기준데이터( $\diamond$ )와 비교하였을 때 온도가 165°C 이하이면 비정질 광학특성을 유지하지만 165~400°C의 온도영역에서는 결정질 광학특성을 나타낸다. 하지만 온도가 400°C를 넘어갈 때는 GST의 복소굴절률은 결정질과 비정질 기준데이터에 비해 큰 차이를 나타낸다. 마찬가지로 ZnS-SiO<sub>2</sub> 보호층의 경우에서도 온도가 165°C보다 작을 경우 GST는 비정질 특성을 가

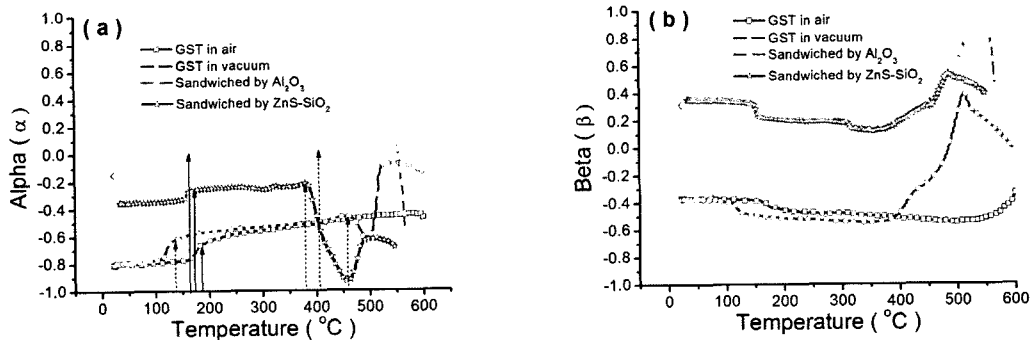


그림 5. In-situ 타원계를 이용하여 Si 기판위에 증착된 GST 박막의 온도를 증가시키면서 실시간으로 측정된 (a) 타원상수  $\alpha$ 와 (b) 타원상수  $\beta$  그래프. GST 단일박막 시료는 공기와 진공에서 측정하였고, 3층막 시료는 보호층으로 ZnS-SiO<sub>2</sub> 또는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 사용하여 공기 중에서 측정하였다.

지고 있으며,  $165\sim 350^\circ\text{C}$  일 때는 결정질 특성을 나타냈고, 온도가  $350^\circ\text{C}$ 를 넘어갈 경우 GST의 복소굴절률은 결정질과 비정질 기준데이터에 비해 큰 차이를 보였다. 위와 같은 이유는 상대적으로 오랜 시간 동안 가열함에 따라 GST 합금을 구성하는 물질이 보호층과 화학작용을 하기 때문으로 판단된다.

결론적으로 유전층으로 보호된 경우 온도가  $370^\circ\text{C}$ ( $\text{ZnS-SiO}_2$ 로 보호된 GST의 경우)보다 낮거나  $400^\circ\text{C}$ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 보호된 GST의 경우)보다 낮을 경우에는 in-situ 타원계를 이용하여 GST의 복소굴절률을 안정적으로 결정할 수 있다. 하지만 이 보다 높은 온도에서는 in-situ 타원계를 이용하여서는 신뢰할 수 있는 GST의 고온 복소굴절률을 구하기 어렵기 때문에

본 연구에서는 다음과 같이 가열시간을 수십 ns로 단축시킬 수 있는 PRAM 기록기를 이용한 새로운 방법을 도입하였다.

### 5.3. PRAM 방법의 검정

Si 기판 위에 증착된 GST 단일박막 시료에 PRAM 기록기를 이용하여 국소적으로 레이저 빔을 조사하였다. 레이저 빔의 조사 전후에 따라 상변화물질의 기록 상태와 반사율변화를 측정한 결과는 그림 7에 나타난 바와 같다. 그림 7(a)에서 가로축은 레이저의 출력, 세로축은 펄스시간의 증가를 각각 나타내며 레이저 빔 1개의 spot size 크기는  $1\ \mu\text{m}$  정도이다. 레이저의 출력은  $6\sim 48\ \text{mW}$ , 레이저 펄스시간은  $0.05\sim 2.0\ \mu\text{s}$ 까지 변화시키며  $\sim 1\ \mu\text{m}$  간격으로 조밀하게 기록하였다.

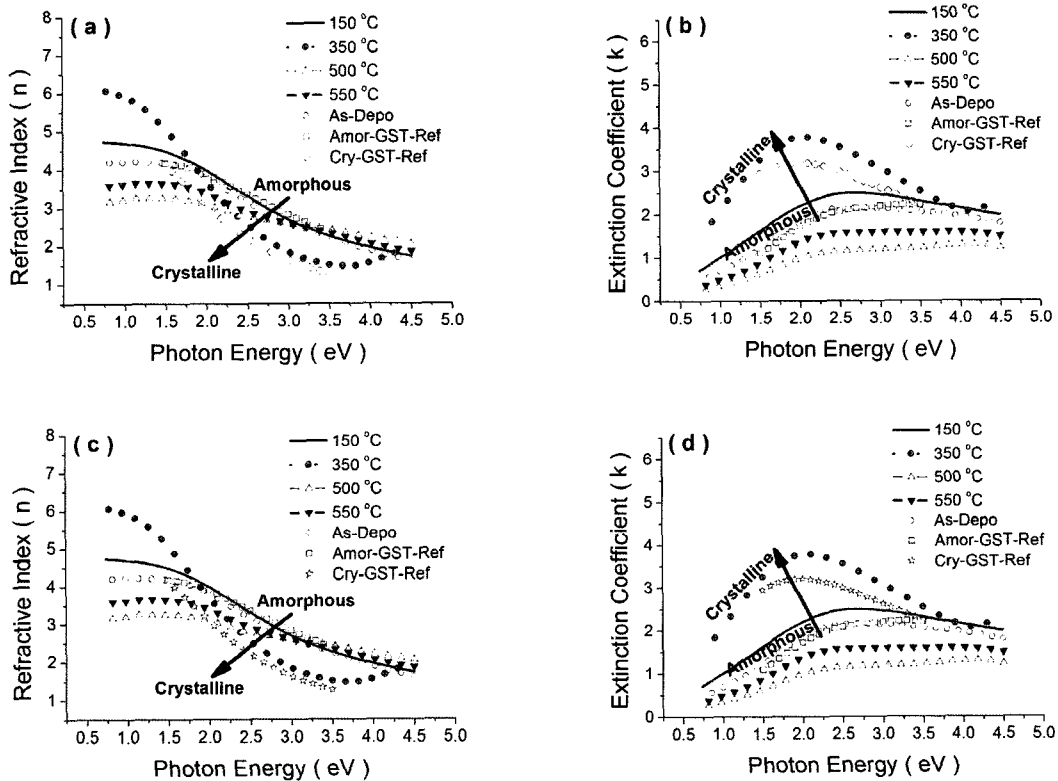
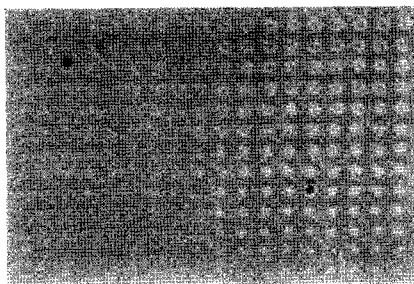
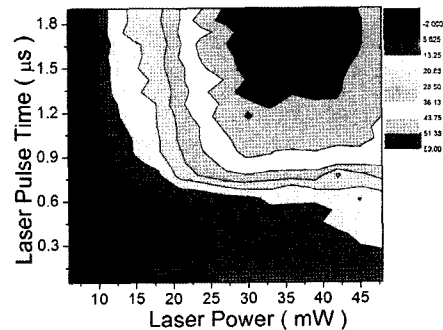


그림 6. in-situ 타원계와 분광타원계를 이용하여 결정한  $\text{Al}_2\text{O}_3$  또는  $\text{ZnS-SiO}_2$ 로 보호된 GST의 고온 복소굴절률. 최종 온도는 각각  $150^\circ\text{C}$ ,  $350^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$ , 그리고  $550^\circ\text{C}$ 로 하였다. (a)와 (b)는 보호층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 이며, (c)와 (d)는 보호층이  $\text{ZnS-SiO}_2$ 인 GST 시료이다.



(a)



(b)

그림 7. 국소적인 Laser beam 조사에 따른 (a)상변화물질의 기록 상태와 (b)기록 전후 반사율변화 그래프.

그림 7(b)는 그림 7(a)에 대응하여 기록 전후의 반사율 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

레이저의 출력과 레이저의 펄스시간이 각각 18 mW와 0.4  $\mu$ s 이상이 되면 광 정보신호가 기록되기 시작하였으며 레이저의 출력과 레이저의 펄스시간이 각각 40 mW와 1.0  $\mu$ s 이상이 되면 ablation 현상이 나타나는 것을 직관적으로 볼 수 있었다. 레이저의 출력을 6~48 mW까지 3 mW씩 증가시키면서 레이저의 조사시간에 따른 반사율 변화를 나타낸 그림 8에서 레이저의 펄스시간이 0.3  $\mu$ s보다 작은 경우는 모든 출력에서 반사율의 변화가 거의 없었으며 18 mW보다 작은 레이저의 출력에서는 펄스시간을 증가시키더라도 광 정보신호는 기록되지 않음을 알 수 있다. 레이저의 펄스시간과 출력을 각각 0.3  $\mu$ s, 18 mW이상으로 올렸을 때에는 레이저 조사 전후의 반사율 차이가 급격하게 증가하였다. 큰 반사율 차이는 광 정보신호가 기록되는 것을 의미하므로 레이저 출력의 증가에 따라 나타나는 반사율차이의 급격한 증가는 레이저 출력이 증가함에 따라 광 정보신호의 기록 속도가 급격하게 증가하는 것을 나타내는 것으로 이해된다. 한편 레이저의 출력을 증가시키면 따라 기록 전후의 반사율 차이가 증가하지만 레이저의 출력이 40 mW를 넘어갈 경우 기록 전후의 반사율 차이는 오히려 약간 감소하는데 이는 ablation에 의한 것으로 해석된다. 주어진 출력에서 레이저 펄스의 조사 시간

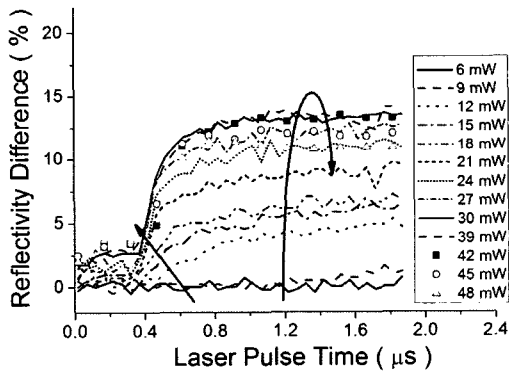


그림 8. 레이저의 출력과 조사시간에 따른 반사율 변화. 레이저의 출력은 6 mW 부터 48 mW까지 3 mW씩 증가시켰다.

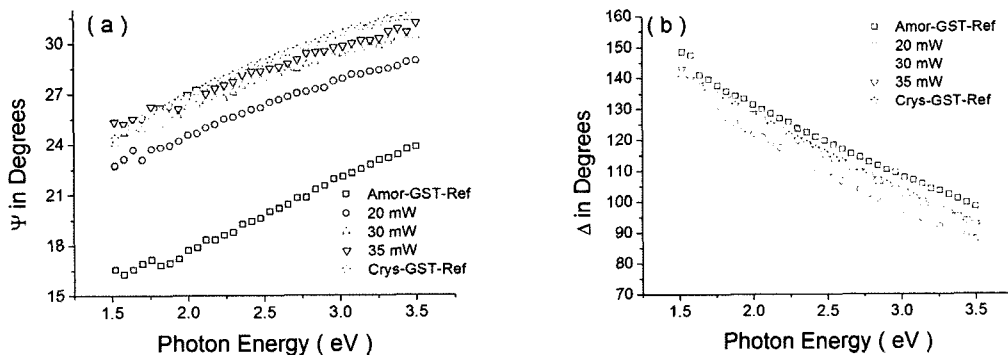


그림 9. Line 모드로 기록한 GST 시료의 타원상수  $\psi$ 와  $\Delta$  스펙트럼들. (a)기록전, (b)기록후.

이 증가하면 반사율 차이는 대체로 증가하지만 레이저의 시간이 2.0  $\mu$ s에 도달하면 시간이 이보다 더 증가하더라도 반사율 차이는 증가하지 않았다. 한편 레이저의 출력이 30~40 mW일 경우 반사율 차이가 일정하게 유지되는 것을 그림에서 확인할 수 있다. 이로부터 광 정보신호를 안정하게 기록할 수 있는 최적 출력범위는 30~40 mW인 것으로 판단할 수 있으며 광 정보신호의 최적 기록시간은 0.3~2.0  $\mu$ s인 것으로 판단된다.

기록 전후의 복소굴절률을 결정하기 위해서 PRAM 기록기의 Dense-spot 모드와 Line 모드를 선택하였다. 이때 기록조건은 Dense-spot 모드는 레이저의 출력을 30 mW, 펄스시간은 0.3  $\mu$ s 정도로 고정하였으며, 레이저 빔의 spot size가 1  $\mu$ m 임을 고려하여 약 1  $\mu$ m간격으로 조밀하게 광 정보신호를 기록하였다. 한편 Line 모드에서는 레이저의 출력을 20, 30 그리고 35 mW로 각각 고정하고 레이저의 선속도는  $\sim$ 10 mm/s로 설정한 뒤 1000 $\times$ 700  $\mu$ m<sup>2</sup>의 면적에서 광 정보신호를 조밀하게 기록하였다.

위와 같은 조건으로 기록한 후 분광타원계를 사용하여 기록 전후 타원상수  $\Delta$ 와  $\psi$ 의 스펙트럼을 측정하였다. 그림 9는 Line 모드를 선택하여 레이저의 출력을 20, 30 그리고 35 mW로 바꾸면서 조밀하게 기록한 후 분광타원계를 이용하여 측정한 타원상수  $\Delta$ 와  $\psi$ 의 스펙트럼을 보여준다. 사각형( $\square$ ) 표시는 기록 전의 타원상수  $\Delta$ 와  $\psi$ 를 나타내며, 원형( $\circ$ ), 삼각형( $\triangle$ )와 역삼각형( $\nabla$ ) 표시는 레이저의 출력을 각각 20, 30 그리고 35 mW으로 기록한 후의  $\Delta$ 와  $\psi$  스펙트럼을 나타낸다. 또한 별모양( $\star$ )은 천천히 가열하며 in-situ 타원계로 결정질로 변화되는 것을 확인한 GST의 타원상수  $\Delta$ 와  $\psi$ 이다.

그림 9(a)에서 PRAM 기록기를 사용 할 때 레이저의 출력이 30 mW를 넘어가면 측정된 타원상수는 결정질 GST의 타원상수와 같아지는 것을 확인할 수 있다. 3상계 모델을 설정하고 미지상수인 GST의 복소굴절률을 Lorentz 분산관계식을 사용하여 나타냄으로써  $\psi$ 와  $\Delta$ 의 스펙트럼을 계산하고, 계산 결과와 측정된  $\psi$ 와  $\Delta$ 의 스펙트럼을 최적맞춤으로 결정한 GST의 복소굴절률 그래프는 그림 10과 그림 11에 나타내었다.

그림 10은 Dense-spot 모드를 선택하여 기록한 시료의 복소굴절률을 결정질 GST의 복소굴절률과 비교한 그래프이다.

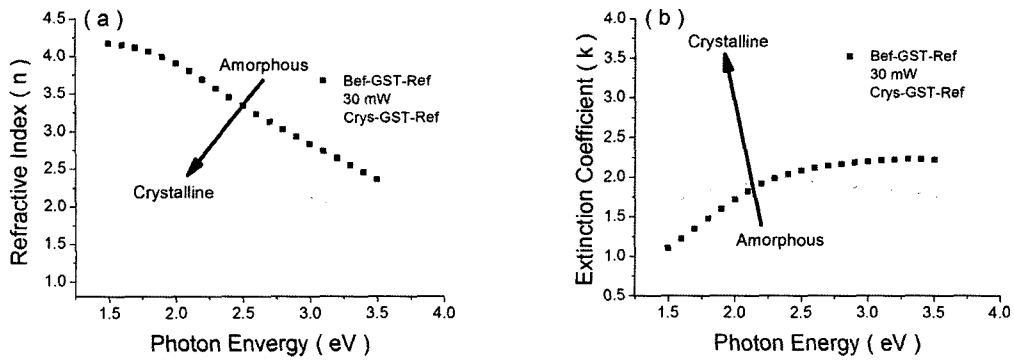


그림 10. Dens-spot 모드를 사용하여 기록한 GST의 복소굴절률 n, k.

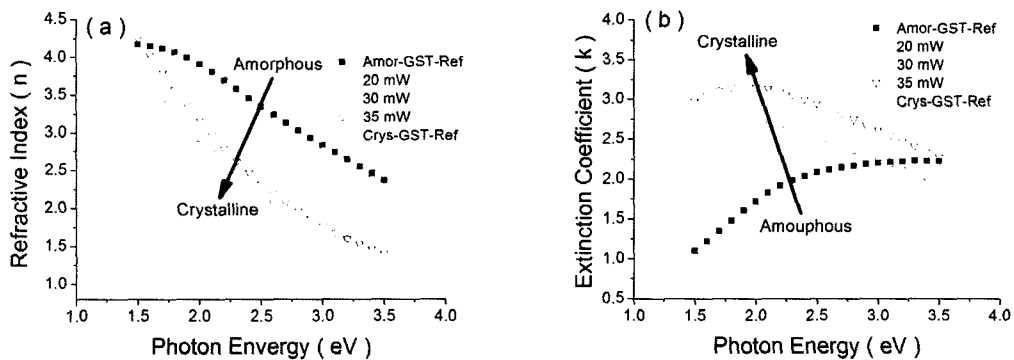


그림 11. Line 모드를 사용하여 기록한 GST의 복소굴절률 n, k.

Dens-spot 모드를 사용하여 기록한 GST의 복소굴절률(원형(○), n, k)이 결정질 기준데이터(삼각형(△))와 큰 차이를 보이는 것은 spot size가 1 μm인 레이저 빔을 1 μm의 간격으로 조밀한 간격으로 기록하였지만 각 레이저 스폿의 가장자리 부분에 상변화가 일어나지 않는 영역이 상당히 남아있기 때문이다. 이와 반대로 Line 모드를 선택하여 기록한 GST의 복소굴절률은 레이저 출력이 30 mW 이상이 되면 결정질 GST의 기준데이터와 같아짐을 그림 11에서 확인할 수 있다. 그림 11에서 사각형(□), 원형(○), 삼각형(△), 역삼각형(▽) 표시는 각각 비정질 GST의 기준데이터, 레이저 출력이 20, 30 그리고 35 mW일 때의 복소굴절률이며, 별모양(☆) 표시는 결정질 GST의 기준데이터이다.

Line 모드를 사용하면 레이저의 출력이 30 mW보다 작을 때에는 결정질 기준데이터의 소광계수 k에서 약간 차이가 나타나지만 레이저의 출력이 30 mW를 넘어가면 결정질 GST의 기준데이터와 동일하게 되므로 30 mW가 결정화를 위한 충분한 세기의 출력인 것으로 판단된다. 이상과 같이 GST 단일 박막의 경우 PRAM 기록기를 이용한 뒤 Line 모드를 사용하여 적절한 레이저 출력으로 기록하면 결정질 GST의 복소굴절률을 결정할 수 있다.

위의 방법에서와 같이 단결정 실리콘 기판위에 bulk 상태인 단층의 GST가 있는 3상계 시료에서 레이저를 조사함으로써 결정질 GST를 만들고 그 복소굴절률을 결정하는 방법은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 ZnS-SiO<sub>2</sub>로 보호된 얇은 GST를 결정화시키

고 그 복소굴절률을 결정하는 데에도 적용 가능하다. 이와 같이 PRAM 기록기를 이용하면 수백 ns 동안 국소적인 면적에서 조밀하게 기록하는 동시에 분광 타원계를 사용하여 GST의 기록 전후의 복소굴절률을 결정할 수 있으므로 실제 광디스크 환경에서의 결정화 과정을 구현할 수 있고 그러한 환경에서 결정화 된 GST의 복소굴절률을 결정할 수 있으므로 매우 실용적이다.

#### 5.4. PRAM 방법을 사용하여 순간 고온열처리한 GST의 복소굴절률 결정

V-3에서 GST 단일박막의 경우 PRAM 방법을 사용하여 GST의 복소굴절률을 정확하게 결정할 수 있었기 때문에 보호층으로 보호된 GST의 고온 복소굴절률도 이 방법을 사용할 경우 정확하게 결정할 수 있는 것으로 판단된다. 그리고 PRAM 기록기에서 사용하는 레이저의 출력과 온도관계는 그림 4에서와 같이 해석할 수 있으므로 레이저 출력을 15 mW(환산온도 ~163℃)에서 45 mW(환산온도 ~450℃)까지 단계별로 변화시키며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 ZnS-SiO<sub>2</sub>로 보호되어 있는 GST 박막 시료에 광학정보를 Dens-spot 모드로 기록한 후 위와 같이 분광 타원계를 사용하여 타원상수 Δ와 Ψ의 스펙트럼을 측정하였다. 미지상수인 GST의 광학상수는 기판 위에 3층 박막이 있는 광학모델(보호층/GST/보호층/기판)을 설정하여 다음과 같은 방법으로 결정하였다. 보호층인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 ZnS-SiO<sub>2</sub>의 광학상수는 기준데이터를 사용하였고, 미

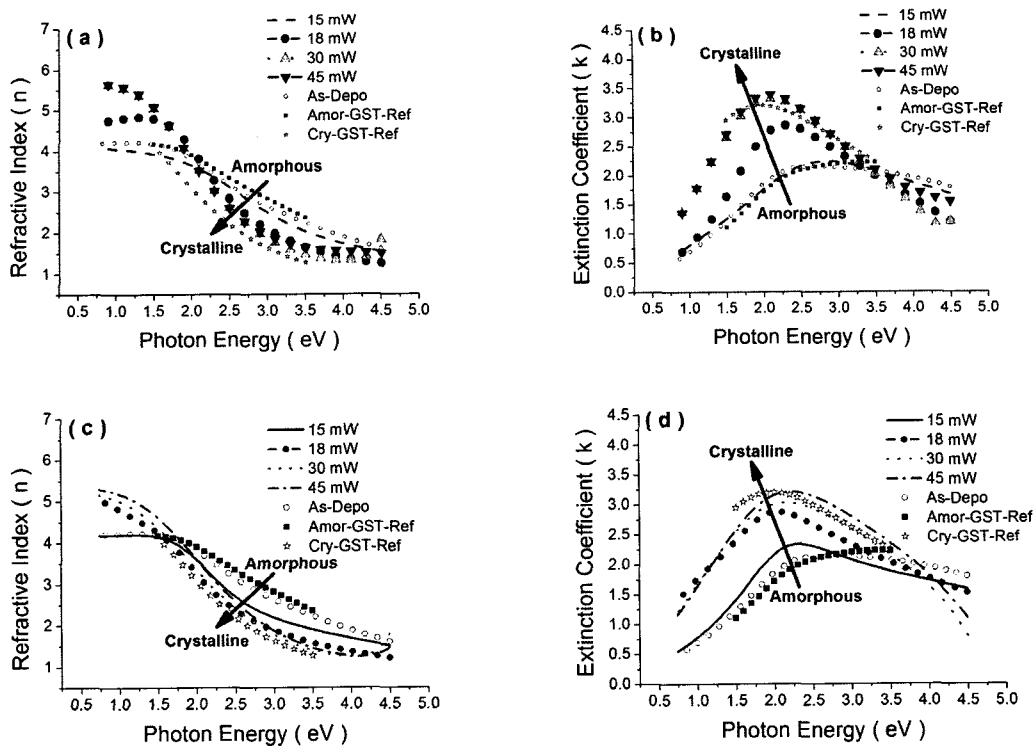


그림 12. PRAM 기록기를 이용하여 국소적인 면적에서 조밀하게 기록한 후 분광 타원계를 이용하여 결정된 GST의 고온 복소굴절률. (a), (b)는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 보호된 GST 박막 시료이며, (c), (d)는 ZnS-SiO<sub>2</sub>로 보호된 GST 박막 시료이다.

지상수인 GST의 복소굴절률 n, k는 Lorentz 분산관계식을 사용하여 3층 박막의 광학모델에 의한 계산 결과와 측정된 스펙트럼의 최적맞춤으로 분산계수들을 결정하였다.

그림 12(a)와 그림 12(b)는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 보호된 GST의 복소굴절률을 보여주며, 그림 12(c)와 그림 12(d)는 ZnS-SiO<sub>2</sub>로 보호된 GST의 복소굴절률을 보여준다. 15 mW 이하 레이저 출력에서는 GST는 보호층의 종류에 무관하게 모두 비정질 상태를 유지하지만 레이저의 출력이 18~45 mW의 영역에 있을 때에 GST는 결정질 특성을 보이고 있다. 특히 in-situ 타원계만 사용하여 GST의 고온 복소굴절률을 결정할 때 나타난 가열환경 의존성이나 보호막 의존성 등은 PRAM 기록기를 이용할 경우 나타나지 않아 동일한 결정질 특성을 보여주었다. 이상의 결과는 PRAM 방법을 사용할 경우 수십 ns의 짧은 시간 내에 마이크로 크기의 국소면적 내에서 가열하기 때문에 유전층으로 보호된 GST 박막의 구조를 손상시키거나 조성을 바꾸지 않고, 상변화 및 고온 열처리 시킬 수 있기 때문으로 판단되며 이 같이 고온 열처리된 GST의 복소굴절률은 분광 타원계를 사용하여 정확하게 결정할 수 있다.

### 5.5. AFM와 SEM 사용한 보호된 GST의 표면구조 분석

PRAM 방법으로 기록한 시료와 in-situ 타원계로 가열한 시료의 표면구조 변화를 관찰한 AFM 측정결과는 그림 13과 같다. In-situ 타원계의 경우 온도가 370°C를 넘어가면 보호층 물질(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> △, ZnS-SiO<sub>2</sub> ▽)에 관계없이 표면 거칠기의 RMS 값이 5 nm 이상으로 급격하게 증가하는데 비해서 PRAM 방

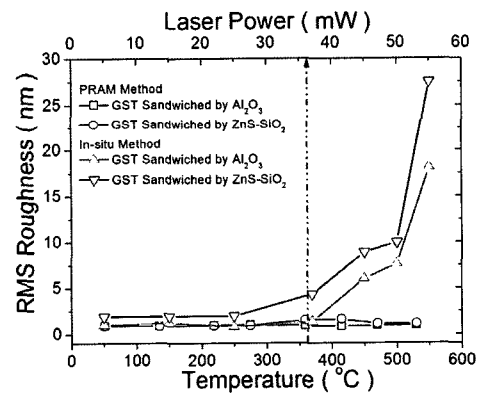


그림 13. 레이저 출력을 변화시키며 PRAM 방법으로 기록한 시료와 in-situ 타원계로 천천히 가열한 시료의 표면 거칠기 비교.

법에서는 온도 370°C에 대응하는 레이저의 출력인 36 mW를 넘어가더라도 표면 거칠기의 RMS는 1~2 nm의 일정한 값을 유지하였다. 마찬가지로 PRAM 방법을 사용할 경우 레이저 출력이 45 mW이어도 보호층 물질의 종류(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> □, ZnS-SiO<sub>2</sub> ○)에 무관하게 표면 거칠기의 RMS 값이 ~1 nm인데 비해 in-situ 타원계의 경우 450°C에서 열처리된 시료의 표면 거칠기 RMS 값은 ~10 nm으로 PRAM 방법에 의한 결과보다 10 배 정도 큰 값을 보여준다. 이는 PRAM 방법은 상용 광기록 매체에서와 같이 수십 ns 동안의 짧은 시간동안 마이크로 크기의 국소면적 내에서 상변화를 시키기 때문에



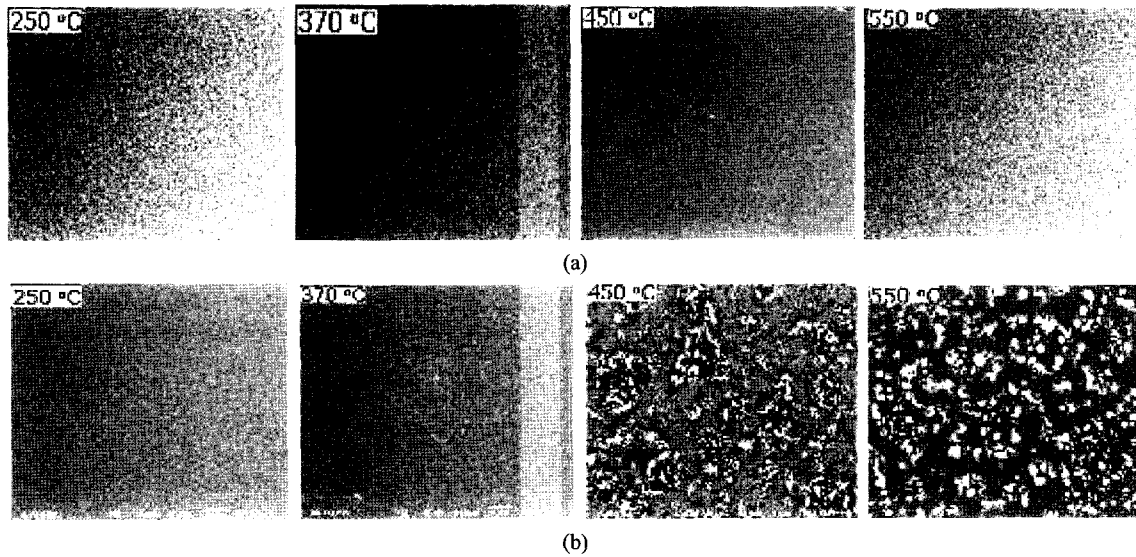


그림 14. Scanning Electron Microscopy(SEM)를 이용하여 측정한 (a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  단일 박막과 (b)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 보호된 GST 박막 표면상태.

GST 박막의 구조를 손상하거나 조성을 바꾸지 않기 때문인 것으로 파악되었다.

박막 표면 구조의 변화를 더 정확하게 관찰하기 위해 본 연구에서 SEM을 이용하여 각 박막의 표면의 측정하였다. 여기에서는 주로  $\text{Al}_2\text{O}_3$  박막과  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 보호된 GST 박막을 분석하였으며, 그림 14(a)에서 보면 Si 기판위에 증착된  $\text{Al}_2\text{O}_3$  단일 박막의 경우 온도가 증가하여도 박막표면의 상태가 아주 균일하게 유지되어  $\text{Al}_2\text{O}_3$  단일 박막구조는 온도의 영향을 받지 않음을 보여준다. 그림 14(b)는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 보호된 GST 박막 경우인데 in-situ 방법으로 가열한 때 온도가  $400^\circ\text{C}$ 를 넘어가면( $450^\circ\text{C}$ 와  $550^\circ\text{C}$ ) 박막표면이 그림 14(a)에 비해 상당히 거칠게 나타났다. SEM을 통한 분석 결과는 in-situ 방법을 이용할 경우 유전율 물질로 보호된 GST 박막은  $400^\circ\text{C}$  이하에서는 복소굴절률을 결정할 수 있지만  $400^\circ\text{C}$  이상의 고온 복소굴절률을 정확하게 결정할 수 없음을 재확인 시켜 준다.

### 5.6. In-situ 방법과 PRAM 방법 비교

In-situ 타원계로 결정한 GST의 고온 복소굴절률과 PRAM 방법으로 결정한 GST의 고온 복소굴절률을 비교하였다. 온도가  $300^\circ\text{C}$  정도일 때(in-situ 타원계)와 레이저 출력이 30 mW일 때(PRAM 방법)의 복소굴절률  $n$ (그림 15(a))과 소광계수  $k$ (그림 15(b))는 두 방법 모두 보호층 물질에 무관하게 동등한 결과를 나타낸다. 복소굴절률의 허수부분에서 보이는 약간의 차이는 in-situ 타원계에서 GST 박막이 받은 초기단계의 구조변화 때문인 것으로 판단된다. 그러나 온도  $450^\circ\text{C}$ 에서 in-situ 타원계와 레이저 출력 45 mW에서 PRAM 방법을 사용하여 각각 얻은 GST의 고온 복소굴절률은 그림 15(c)와 그림 15(d)에서 볼 수 있는 바와 같이 서로 큰 차이를 보여준다. 즉 in-situ 타원계에 의한 GST의 굴절률  $n$ 과 소광계수  $k$ 는 보호층 물질에 따라 크게 달라지지만, PRAM 방법을

사용한 경우 복소굴절률  $n$ 과  $k$ 는 보호층 물질과 무관하게 동일하다.

이와 같은 결과는 GST의 고온 복소굴절률이 in-situ 타원계를 사용할 경우 보호층 물질에 따라 크게 달라지지만 PRAM 방법에서는 보호층 물질의 영향을 받지 않음을 재확인시켜 준다. 즉 시료를 몇 분에 걸쳐 가열하는 in-situ 타원계에서는 GST 합금을 구성하는 물질의 기화, 산화 또는 보호층과의 화학반응이 일어날 수 있는데 비해 수십 ns의 짧은 시간동안 마이크로 크기의 영역에서 가열 및 냉각시키는 PRAM 방법에서는 상용 레이저 광기록 장비를 사용하여 기록 및 소거할 때와 비슷한 환경을 유지한다. 그러므로 GST의 구조와 조성비가 그대로 유지되어 고온 복소굴절률을 정확하게 결정할 수 있다. 한편 in-situ 타원계를 사용할 경우 GST의 고온 복소굴절률이 가열 환경 및 보호층의 종류에 따라 달리 나타나는 구체적인 원인은 보다 심도있는 후속 연구를 통해 밝혀 질 수 있을 것으로 기대한다.

### VI. 결 론

Heating cell이 있는 in-situ 타원계를 사용하여 GST의 타원상수의 온도 의존성을 진공중에서와 공기 중에서 각각 측정하였다. 시료는 보호층이 없는 GST 단층박막 시료, ZnS-SiO<sub>2</sub> 보호막이 있는 시료 즉 ZnS-SiO<sub>2</sub>/GST/ZnS-SiO<sub>2</sub>/c-Si 시료, 그리고  $\text{Al}_2\text{O}_3$  보호막이 있는 시료 즉  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /GST/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /c-Si 시료의 세 종류이다. 보호층이 없는 GST 단층박막 시료와 보호층이 있는 GST 시료는 그 타원상수에 있어서 서로 다른 온도의존성을 보여주었다. 고온에서의 타원상수도 마찬가지로 가열환경과 보호층에 따라 서로 다른 결과를 나타내었다.

보호층인 ZnS-SiO<sub>2</sub>와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 GST의 고온 복소굴절률에 미치는 영향을 확인하기 위해 in-situ 타원계에서 측정하여 얻

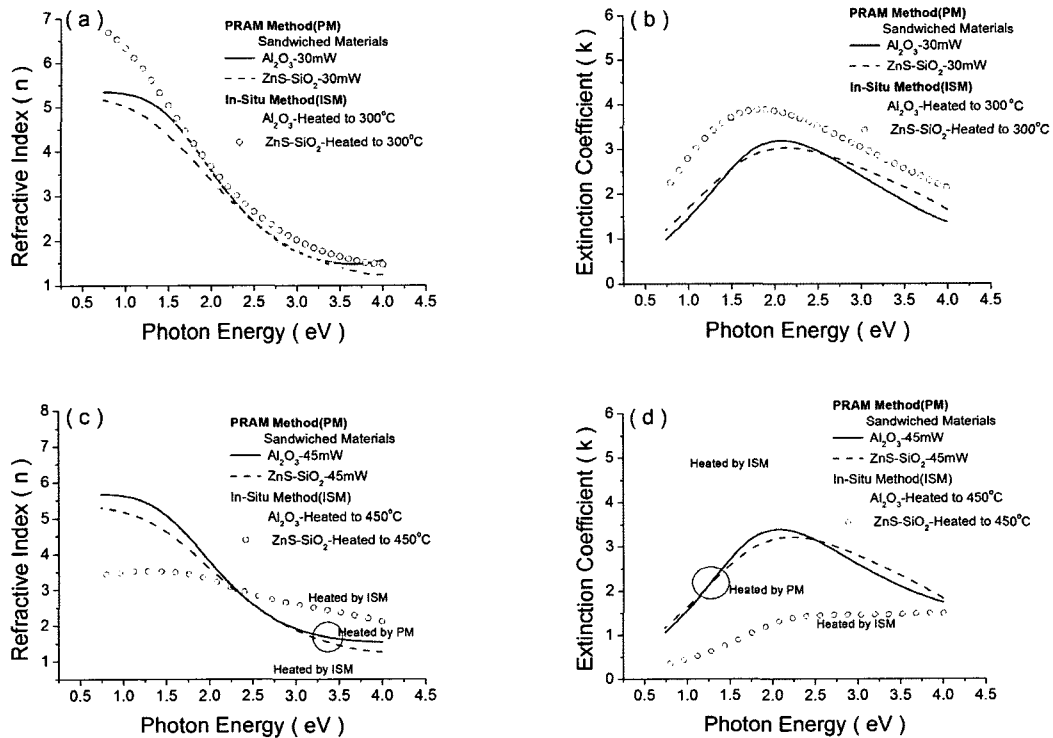


그림 15. In-situ 타원계와 PRAM 방법으로 열처리한 GST의 복소굴절률 n((a), (c))과 소광계수 k((b), (d)) 비교. 레이저의 출력은 30 mW((a), (b))와 45 mW((c), (d)), 온도는 300°C((a), (b))와 450°C((c), (d)), 보호층 물질은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (□, △)와 ZnS-SiO<sub>2</sub> (○, ▽)이다.

은 타원상수  $\Delta$ 와  $\Psi$ 의 스펙트럼을 수치해석 역방계산하여 GST 복소굴절률을 결정한 결과 일정온도까지는(ZnS-SiO<sub>2</sub>는 370°C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 400°C 이하) 일관성 있는 값을 보여주어 in-situ 타원계를 통해 고온에서의 복소굴절률을 결정할 수 있었지만 일정온도 이상으로 온도가 올라갈 경우 GST의 고온 복소굴절률은 진공중에서 또는 공기중에서의 여부에 따라 달라지며 보호막의 종류에 따라서도 달라져 그 결과를 신뢰할 수 없었다. 이렇게 가열환경과 보호층의 종류에 따라 GST의 고온 복소굴절률이 달라지는 이유는 in-situ 타원법에서 사용되는 heating cell로 가열할 경우 시료를 가열하는 시간이 1~2 시간으로 상대적으로 길기 때문에 광기록층인 GST를 구성하는 성분의 일부가 산화하거나 증발하며 보호층과 화학작용도 하는 것으로 해석되었다. 이같이 가열시간이 길어짐에 따라 나타나는 GST의 조성변화 등 부작용을 극복하기 위하여 가열시간을 수십 ns로 단축시킬 수 있는 PRAM 기록기를 이용하여 가열하고 급속 냉각하는 새로운 방법을 도입하였다.

PRAM 기록기를 이용하여 레이저를 조사한 뒤 분광타원계를 이용하여 측정된 타원상수  $\Delta$ 와  $\Psi$ 의 스펙트럼을 이용하여 보호층이 있는 GST의 복소굴절률을 구했으며, 기준데이터와 비교하여 결정화 정도를 확인하였다. 레이저의 출력과 GST 박막에서 흡수하는 레이저 에너지로부터 흡수된 열량을 구하고 열확산 방정식을 수치해석적으로 풀어 레이저 출력과 GST 박막의 온도와의 상관관계를 도출하였다. PRAM 기록기를 Dense-spot 모드로 제어할 경우 레이저 출력이 15~45 mW(환산온도 약 163~450°C)의 범위내에 있을 경우 GST

는 비정질에서 결정질로의 상변화된 광학상수를 보여준다. 고온에서의 GST의 복소굴절률은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>나 ZnS-SiO<sub>2</sub>의 보호층의 종류에 관계없이 동일한 결정질의 특성을 보여주었다. 이와 같이 PRAM 기록기를 사용할 경우 종래의 heating cell을 사용하는 in-situ 타원계를 통해서서는 얻지 못했던 고온 복소굴절률을 안정하게 얻을 수 있었으며 이 결과는 PRAM 기록기 방법의 경우 유전층으로 보호된 GST 박막을 매우 짧은 시간내에 가열하기 때문에 시료를 손상시키거나 조성을 바꾸지 않고, GST를 상변화 시키거나 고온 열처리시킬 수 있었기 때문으로 판단된다. PRAM 기록기를 사용하여 안정되게 GST를 상변화시키거나 고온열처리 할 수 있음은 AFM과 SEM을 사용하여 관찰한 시료의 표면의 거칠기와 박막표면 상태에서도 확인할 수 있었다. 시간이 상대적으로 오래 걸리는 in-situ 타원계로 가열한 시료는 PRAM 기록기를 통해 조사한 시료에 비해 표면의 거칠기가 10배 가량 더 크며 박막 표면 상태도 크게 훼손되어 있었다. 결론적으로 PRAM 기록기와 분광 타원계를 사용하여 고온에서 GST의 복소굴절률을 정확하게 결정할 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-311-C00062).

## 참고문헌

- [1] C. D. Wright, M. Armand, and M. M. Aziz, "Terabit-per-Square-Inch Data Storage Using Phase-Change Media and Scanning Electrical Nanoprobes," *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol. 5, pp. 50-61, 2006.
- [2] J. Tominaga, T. Nakano, and N. Atoda, "An approach for recording and readout beyond the diffraction limit with an Sb thin film," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 73, pp. 2078-2080, 1998.
- [3] S. Y. Kim, S. U. Park, X. Z. Li, S. J. Kim, and S. H. An, "Enhanced Readout Signal of Elliptic-Bubble Super Resolution Near Field Structure by Temperature-Dependent Complex Refractive Index of Phase-Change Medium," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 45, no. 2B, pp. 1390-1393, 2006.
- [4] J. R. Liu, Y. S. Lu, C. H. Tien, N. Y. Tang, and H. P. David Shieh, "Effects of Aperture Wall on the Readout Signal of Erasable Thermal Phase Change Super Resolution (EPSR) Disks," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, pp. 1661-1664, 1999.
- [5] S. J. Kim, Y. D. Park, S. H. An, and S. Y. Kim, "Observation of the cascaded phase transformation of Ge-Sb-Te alloy at elevated temperature by using nanosecond time resolved ellipsometry," *Thin Solid Films*, vol. 455-456, pp. 675-678, 2004.
- [6] Y. Kim, S. J. Kim, S. Y. Kim, S. H. An, D.-S. Suh, J.-S. Noh, S. M. Lee, K. H. P. Kim, W.-C. Shin, and Y. K., "Experimental Setup for in Situ Investigation of Phase Changing Behavior in Phase-Change Random-Access Memory Medium by Microfocusing Nanosecond-Time-Resolved Ellipsometry," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 45, no. 8A, pp. 6452-6454, 2006.
- [7] B. J. Bartholomeusz, "Thermal response of a laser-irradiated metal slab," *J. Appl. Phys.*, vol. 64, no. 8, pp. 3815-3819, 1988.
- [8] J. Siegel, A. Schropp, J. Solis, C. N. Afonso, and M. Wuttig, "Rewritable phase-change optical recording in  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  films induced by picosecond laser pulses," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 84, no. 13, pp. 2250, 2004.
- [9] H. Lyee, D. G. Cahill, B. Lee, and J. R. Abelson, "Thermal conductivity of phase-change material  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ ," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 89, no. 15, pp. 151904, 2006.

Optical Property of Super-RENS Optical Recording  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  Thin Films at High Temperature

Xue Zhe Li, Joongkyu Choi, Jaehyun Lee, Young-Sup Byun, Jang Wi Ryu, and Sang Youl Kim<sup>†</sup>

*Department of Molecular Sciences and Technology, Ajou University Woncheon-dong,*

*Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 442-749, Korea*

<sup>†</sup>*E-mail: sykim@ajou.ac.kr*

Soo Kyung Kim

*NANOSTorage Co., Ltd. 606 DMC R&D Center, Sangam-Dong, Mapo-Ku, Seoul, 121-270, Korea*

(Received August 13, 2007, Revised manuscript October 16, 2007)

The samples composed of a GST thin film and the protective layers of ZnS-SiO<sub>2</sub> or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated on c-Si substrate were prepared by using the magnetron sputtering method. Samples of three different structures were prepared, that is, i) the GST single film on c-Si substrate, ii) the GST film sandwiched by the protective ZnS-SiO<sub>2</sub> layers on c-Si substrate, and iii) the GST film sandwiched by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> protective layers on c-Si substrate. The ellipsometric constants in the temperature range from room temperature to 700°C were obtained by using the in-situ ellipsometer equipped with a conventional heating chamber. The measured ellipsometric constants show strong variations versus temperature. The variation of ellipsometric constants at the temperature region higher than 300°C shows different behaviors as the ambient medium is changed from in air to in vacuum or the protective layers are changed from ZnS-SiO<sub>2</sub> to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Since the long heating time of 1-2 hours is believed to be the origin of the high temperature variation of ellipsometric constants upon the heating environment and the protective layers, a PRAM (Phase-Change Random Access Memory) recorder is introduced to reduce the heating time drastically. By using the PRAM recorder, the GST samples are heated up to 700°C decomposed preventing its partial evaporation or chemical reactions with adjacent protective layers. The surface image obtained by SEM and the surface micro-roughness verified by AFM also confirmed that samples prepared by the PRAM recorder have smoother surface than the samples prepared by using the conventional heater.