

석영 기판 위에 집속 이온빔 기술에 의해 형성된 비정질 게르마늄 박막 미세 패턴의 편광 및 복굴절 특성

Characteristics of Polarization and Birefringence for Submicron a-Ge Thin Film on Quartz Substrate Formed by Focused-Ion-Beam

신 경^{*}, 김진우^{*}, 박정일^{*}, 이현용^{**}, 정홍배^{*}

^{*}광운대학교 공대 전자재료공학과

^{**}포항공대 Terahertz Photonics 연구단

Kyung Shin^{*}, Jin-Woo Kim^{*}, Chung-Il Park^{*}, Hyun-Yong Lee^{**}, Hong-Bay Chung^{*}

^{*} Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon University

^{**} Center for Terahertz Photonics, POSTECH

Abstract

In this study, the polarization effect and the birefringence effect of amorphous germanium (a-Ge) thin films were investigated by using linearly polarized He-Ne laser beam. The a-Ge thin films were deposited on the quartz substrate by plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) and thermal vacuum evaporation. In order to obtain the optimum grating arrays, inorganic resists such as Si₃N₄ and a-Se₇₅Ge₂₅, were prepared with the optimized thickness by Monte Carlo (MC) simulation. As the results of MC simulation, the thickness of a-Se₇₅Ge₂₅ resist was determined with Z_{min} of 360Å. The resists were exposed to Ga⁺-FIB with accelerating energies of 50 keV, developed by wet etching, and a-Ge thin film was etched by reactive ion-etching (RIE). Finally, we were obtained grating arrays which grating width and linewidth are 0.8μm, respectively and we studied the polarization and birefringence effect in transmission grating array made of high refractive amorphous material, and the applicability as waveplates and polarizers in optical device.

Key words(중요용어) : the polarization effect and the birefringence effect(편광효과와 복굴절효과), 복굴절차, 회절 효율, milling

1. 서론

Waveplates, 반사방지 소자 및 편광기 등의 광학 구성 요소는 투과 격자에 따라서 수직 입사 시 TE 투과 도와 TM 투과 도에서 상당한 차이가 발생하고, 강한 복굴절 효과가 나타나며, 이러한 편광 및 복굴절 효과들은 격자 주기에 강하게 의존하는 특

성에 따라 제작되었다. 따라서 이러한 광학 구성 요소들을 제작하려면 파장이하의 미세한 격자들을 형성 시켜야 하는데, 여기에는 여러 가지의 제약들이 따른다.

또한, 투과 격자 배열들이 파장이하의 간격을 가지면 복굴절 등은 파장에 무관하게 되는 simple form birefringence theory와 effective medium theory에

따르게 된다.

이와 같은 많은 제약과 특성에도 불구하고, 한 기판 위에 다른 여러 광학 소자들을 단일 공정으로 다른 위치에 배열할 수 있는 집적광학의 장점들 때문에 많은 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이러한 요구에 맞추기 위해 본 연구진은 고 굴절률을 가지는 파장 이하의 비정질 투과 격자 배열 형성을 연구하여 a-Ge를 0.8 μm 격자 배열로 제작하였고, 여러 가지 광학 부품으로서의 응용 가능성 타진하였다.

2. 실험방법

박막의 제작은 Quartz 기판 위에 a-Ge을 형성하고 그 위에 a-Se₇₅Ge₂₅을 이중 층으로 제작하였다. 제작 방법은 다음과 같다. 먼저 Quartz 기판 위에 a-Ge을 10⁶ Torr의 진공도를 유지하면서 825Å으로 형성하였고, 같은 진공도 하에서 600Å으로 a-Se₇₅Ge₂₅을 레지스트로 사용하기 위하여 형성하였다. 이중 층으로 증착 후, 격자 배열을 위하여 본 연구진에 의하여 다년간 연구된 집속 이온빔 공정(Focused-Ion-Beam Process)에 의하여 0.8 μm 로 격자가 형성되었다. 격자의 형성 과정은 샘플을 0.8 μm 폭으로 Ga⁺-FIB에 노출시키고, 다시 0.8 μm 를 띄운 후 또 다시 같은 폭으로 노출시키는 작업을 반복하였으며, 그 면적은 약 60×60 μm^2 의 정사각형으로 했다. a-Se₇₅Ge₂₅은 Ga⁺-FIB에 대하여 분해능과 대비도가 우수하여 레지스트로서 사용하였다. 그림 1은 이중 층 박막이 0.8 μm 로 격자가 배열된 사진을 보여준다.

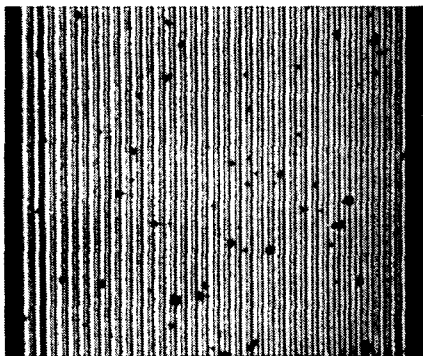


그림 1. a-Ge 위에 a-Se₇₅Ge₂₅가 형성된 이중 층 박막의 0.8 μm 간격의 격자 배열

그러나, 집속 이온빔 공정에서 Ga⁺-FIB을 이용하여 0.8 μm 의 격자 형성을 직접 밀링(milling) 과정을 통

하여 제작하였다. 밀링 과정이 끝난 후, a-Ge 격자 배열의 복굴절 차와 회절 효율과의 비교를 위해 a-Se₇₅Ge₂₅이 증착되어 있는 이중 층막의 복굴절 차 측정과 회절 효율을 측정하였다.

a-Se₇₅Ge₂₅을 제거하기 위하여 CF₄로 RIE 공정을 10초간 수행하였다. 그림 2는 RIE 공정이 끝난 후의 a-Ge 만의 격자 배열의 사진이다. RIE 공정 때 a-Ge도 약간 제거되어 619Å만 측정되었다. 이 두께의 측정은 n&k로 측정하였다.

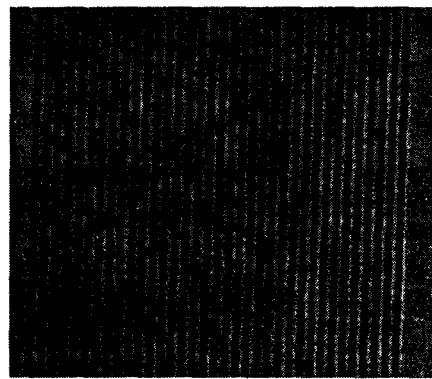


그림 2. 집속 이온빔 기술을 이용한 비정질 게르마늄의 투과 격자 배열

그림 1에서의 이상 점들은 밀링의 과정에서 평소보다 긴 시간의 노출에 기인한 압박으로 a-Se₇₅Ge₂₅ 박막에 이상이 생긴 것으로 추정된다. 이와 같은 사실은 그림 1과 2를 비교해 보면, 이상한 점들이 없어진 것으로 확인 할 수 있다.

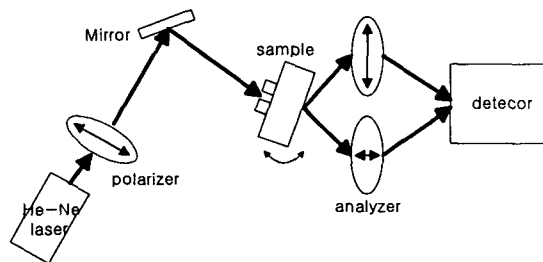


그림 3. 복굴절 및 회절 효율 측정을 위한 투과형 장치도

형성된 샘플의 격자 배열에 He-Ne 레이저빔을 투과하여 TE-파와 TM-파의 투과도 차이와 위상차이를 그림 3과 같은 장치도를 설치하여 측정하였다.

이 때 사용된 레이저는 6328Å의 파장을 갖고 최대 20mW의 에너지를 방출하는 He-Ne 레이저빔을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림4는 n&k 장비를 이용하여 a-Ge 박막의 파장에 따른 굴절률과 소광계수를 나타내는 그래프이다. 또한 이 장비로 a-Ge 박막의 두께가 619Å으로 측정되었다.

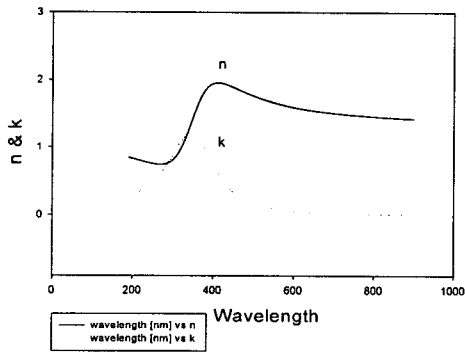


그림 4. 619Å의 두께를 갖는 a-Ge의 파장에 따른 n과 k 값.

그림 5 역시 n&k로 위 박막을 측정된 R과 T 값을 나타낸 그래프이다. 여기서 R이라고 표기된 곡선은 파장에 따르는 반사도를 나타내며, T 역시 파장에 따르는 투과도를 나타낸 곡선이다.

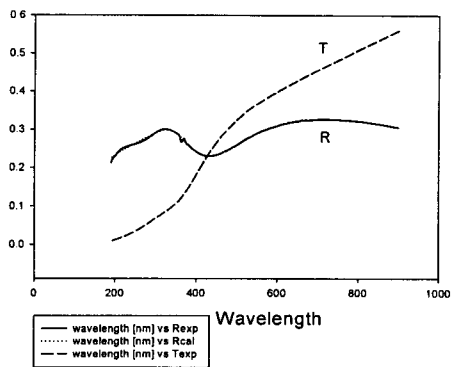


그림 5. 619Å의 두께를 갖는 a-Ge의 파장에 따른 투과도(T)와 반사도(R).

이 두 그래프는 모두 물질의 광학적인 성질을 나타내는 그래프로서, 이러한 측정값들은 광학 소자의 응용 가능성을 모색하는데 유용한 자료가 될 것이다.

파장에 따르는 굴절률과 반사도 곡선 자체만으로는 다른 물질에 비하여 우수한 성질을 가지는 것이 아닌 것으로 판단되어 지지만, 이 박막에 미세 격자 배열을 본 연구에서와 같이 형성시키면 다음의 내용에 의하여 복굴절 차와 회절 효율은 다른 소자보다 더 나은 결과가 나오는 것을 알 수 있을 것이다.

미세한 격자 배열로 형성된 박막에서의 복굴절 차는 그림 3과 같은 장치에 의해 측정되며 그 계산 방법은 다음의 식들에 의해 구해진다.

$$I = I_0 \cdot \sin^2\left(\frac{\delta\phi}{2}\right) \quad (1)$$

$\delta\phi$: 위상차

여기서, I_0 는 미세 격자 배열에 의해 복굴절 되어 나오는 빔으로서 샘플에 입사하는 빔의 편광 상태와 평행한 상태의 빔이 가지는 세기이고, I는 입사 빔과 수직인 상태의 빔이 가지는 세기를 나타낸다. 또, 위상차는 복굴절과의 관계식에 의해서

$$\delta\phi = k \cdot \text{Path}_{opt} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \delta n \cdot d \quad (2)$$

δn : 굴절률 차

Path_{opt} : 광 경로

d : 박막의 두께

으로 구할 수 있다.

위와 같은 방법으로 위상차를 알 수가 있고, 이러한 위상차는 (2)식의 관계에서 물질이 갖고 있는 복굴절 차를 구할 수 있다.

이상과 같은 과정에서 미세 격자 배열된 a-Ge 박막의 I와 I_0 의 비율값이 2.08×10^{-3} 으로 측정되어 위상차 $\delta\phi$ 는 약 5.228이고, 복굴절 차 δn 은 약 0.148로서 꽤 좋은 결과가 나왔다. 또한 이중 층 박막 경우의 δn 이 0.098인데 비하면 더 큰 차를 가짐을 알 수 있다.

회절 효율은 샘플에 입사하는 빔의 세기에 대한 첫 번째 회절 오더의 세기로 나타내어지며, 미세 격자 배열 되어진 a-Ge 박막의 회절 효율은 2.03×10^{-4} 의 값을 보였다. 또, 입사 빔과 평행한 빔의 회

절 효율과 수직한 빔의 회절 효율의 비는 0.40으로 측정되었다.

미세한 격자 배열을 갖는 a-Ge의 이상과 같은 결과들은 광학 소자로서의 응용 가능성을 갖기에 충분한 것이다.

4. 결론

본 연구에 대한 아이디어는 FIB 기술과 관련하여 현재 다양한 분야에서 새로운 아이디어가 창출되고 있는 가운데 새롭게 제안된 것이며, 본 연구진에 의해 다년간 연구되고 성과도 얻은 바 있는 FIB를 이용한다는 면에서 기술 집중력을 가질 수 있는 분야로 생각된다. 이 연구는 고 굴절 비정질박막의 투과 격자배열을 제작하여 편광기 및 waveplates로의 응용 가능성을 확인하였고, 차세대 집적광학에 직접 연관시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다는 사실 또한 확인하였다. 특히, 투과 격자를 이용한 편광 및 복굴절 효과는 다양한 분야에서 연구하는 이들에게 새로운 아이디어를 창출해 낼 수 있는 여지가 충분하다. 집적광학소자 분야는 재료, 공정, 설계, 제어 및 측정 분야 등의 종합적 기술을 필요로 하기 때문에 국내에서도 각 분야간 서로 유기적인 협력을 통해 경쟁력을 높여야 할 것으로 판단되며, 이 연구는 재료와 공정 분야에서 과히 성과를 거두었다고 할 수 있을 것으로 사료되어진다.

이 논문은 (1998)년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음

참고문헌

- [1] H. Y. Lee, H. B. Chung, J. Vac. Sci. Technol., B, 16(3), pp.1161-1166, May/June. (1998)
- [2] H. Y. Lee, S. H. Park, J. Y. Chun, H. B. Chung, J. Appl. Phys., 83, pp. 5381-5385, May (1998)
- [3] Frank L. Pedrotti, S. J. Leno S. Pedrotti, Introduction to Optics, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1993, Chap 16, pp. 323-348, Chap 17, pp. 349-406.
- [4] N. F. Mott and E. A. Davis, Clarendon Press · Oxford, Great Britain, 1979, Chap 7, pp.382-388
- [5] Changshun Wang, Haosheng Fei, Yanpiang Yang, Optics Communications 159 (1999) pp.58-62
- [6] Lucila Cescato, Leandro L. Soares, Carlos R. A. Lima, Marco A. R. Alves and Edmundo S. Braga, SPIE, 2778, pp.193-194
- [7] Stephen Y. Chou and Wenyong Deng, Appl. Phys. Lett. 67, pp.742-744 (1995)
- [8] Steven J. Schabilitsky, Lei Zhuang, Rick C. Shi, and Stephen Y. Chou, Appl. Phys. Lett. 69, pp.7-9 (1996)
- [9] Otfried Madelung, Semiconductors-Basic Data, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Germany, 1996, pp. 11-40