

# 펨토초 레이저 가공된 게르마늄 웨이퍼에 대한 고분해능

## X-선 회절 분석연구

### High-Resolution X-ray Diffraction Study on Germanium Wafer Micromachined with Femtosecond Laser

박명일<sup>\*\*\*</sup>, 박미라<sup>\*\*</sup>, 최대식<sup>\*\*</sup>, 박종욱<sup>\*</sup>, 김창수<sup>\*\*</sup>, 정세채<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>KAIST 재료공학과, <sup>\*\*</sup>표준과학연구원

e-mail 주소 : scjeoung@kriss.re.kr

게르마늄은 실리콘에 비해 전자이동도가 높은 장점에도 불구하고 안정된 산화막을 형성의 어려움 및 접합에서의 높은 누설전류 등 단점으로 인해 현재까지는 적외선 렌즈 등의 광학 소자로 그 응용이 제한되어 있다. 이로 인해 게르마늄은 실리콘처럼 공정 기술이 체계화되어 있지 않을뿐더러 그에 대한 기초 연구가 부족한 실정이다. 한편 금, 은 등의 금속 물질들에 비하여<sup>(1)</sup> 게르마늄에 대한 레이저 직접 가공에 의한 상변태에 대한 연구가 전무한 상태이다. 본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용해 게르마늄을 가공하는 기술과 이 과정에서 레이저에 의한 게르마늄 결정성의 변화를 관찰하고 그 결과를 분석해 보았다. 이를 바탕으로 전자, 광학, 바이오 등의 다양한 분야에서 게르마늄을 이용한 여러 소자들이 개발되기를 기대해 본다.

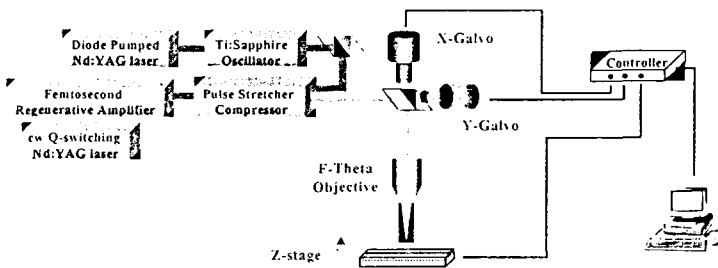


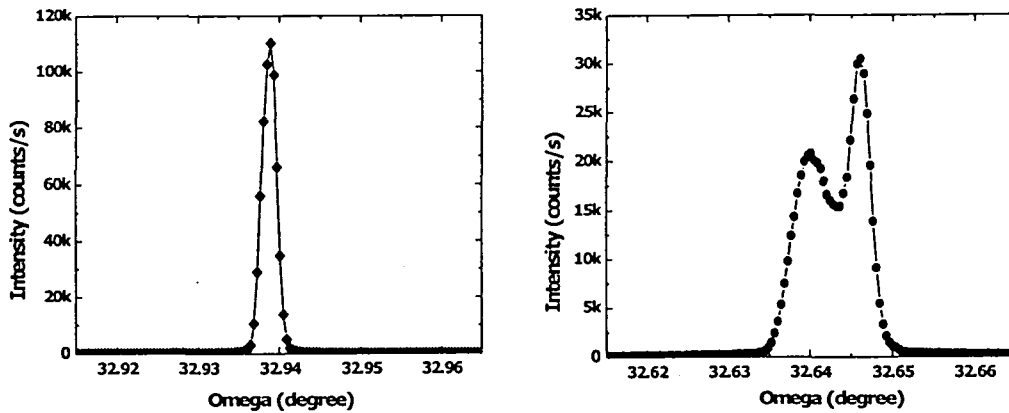
그림 1. 갈바노 스캐너를 이용한 펨토초 레이저 가공 시스템 모식도.

실험에 사용한 게르마늄 시편은 Eagle-Picher사에서 구매한 것으로 (100) 방향, 350 μm의 두께를 갖으며 2" 웨이퍼를 조각내어 사용하였다. 본 연구에서 사용한 펨토초 레이저 가공 시스템의 모식도가 그림 1에 나와 있다. 이 때 레이저는 증폭된 펨토초 레이저로써 1 kHz의 반복률 및 최대 1 mJ/pulse 레이저 출력, 810 nm의 파장 및 150 fs 레이저 펄스폭을 갖고 있다. 발생된 레이저빔

은 갈바노 스캐너 (galvanometer scanner) 를 거쳐 z-translation stage 위에 놓여 있는 시편을 가공하게 된다. 레이저 스캔 속도는 2 mm/s 로 고정시켰으며 레이저의 출력을 5-200 mW 까지 조절하면서 빔을 시편에 입사시켰다. 이때 고분해능 X-선 회절 분석기 (high-resolution X-ray diffractometer : Philips X'pert) 측정을 위해 빔에 의해 가공된 영역의 크기가 4×1 mm<sup>2</sup> 이 되도록 여러 번 빔을 스캔하였다. 레이저 가공된 게르마늄의 결정성을 분석하기 위해서 X-선 회절 분석기를 이용하여 고분해능 3축 로킹 커브 (rocking curve) 을 측정하였다. X-선 출력조건은 20 kV, 15 mA 이었으며 1.5405 Å의 Cu Kα1 선을 사용하였다. 이때 레이저 에너지에 의해 결정성의 변화를 일으키는 영역을 관찰하기 위해서 레이저 입사 부위에서 거리를 1 mm 간격으로 이동하면서 측정하였다.

레이저가 조사된 지점에서 게르마늄의 (004) 면에 대한 로킹 커브를 측정한 결과가 그림 2에 나타나 있다. 그림 2 (a)는 레이저 출력이 5 mW 인 경우의 로킹 커브로 반치폭 (FWHM) 은 0.0022° 이며 최

고 회절 피크 (peak) 의 강도는 110239.32 cps 로 관측되었다. 반면에 그림 2 (b)의 100 mW 경우에는



(a) 5mW

(b) 200 mW

그림 2. 레이저 출력이 5 mW (a) 와 200 mW (b) 일 때, 게르마늄 웨이퍼 (004) 면에 대한 로킹 커브. 반치폭이 0.0088°, 최고 회절 피크 강도는 30355.18 cps 로 측정되었다. 100 mW 경우는 5 mW 경우에 비해 반치폭이 크고 최고 회절 강도가 낮으므로 레이저에 의한 결정성의 변화가 더 크게 나타난 것으로 생각된다. 특히 순수한 게르마늄의 반치폭이 대략 0.002° 이므로 5 mW 의 경우는 거의 영향을 받지 않은 완전 단결정이라고 판단할 수 있다. 반면 100 mW 의 경우 32.6401° 와 32.6461°에서 두개의 피크가 관찰되는데 이것은 레이저 처리를 받은 영역의 결정성 변화로 인해 내부의 기판과는 달리 격자가 경사지게 (tilted) 되어 나타난 것으로 생각된다.

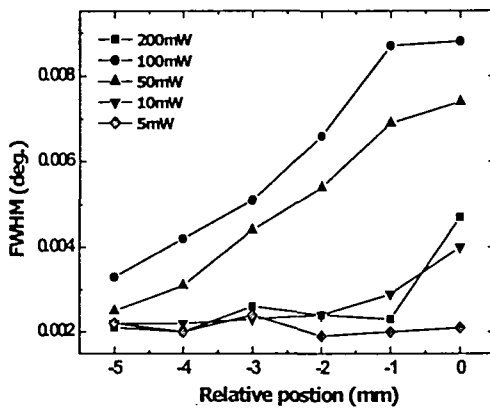


그림 3. 게르마늄 웨이퍼 (004) 면에 대한 레이저 출력 변화와 입사 영역에 따른 반치폭의 변화

각 레이저의 출력에서 레이저가 입사된 부위에서 1 mm 간격으로 이동시키면서 로킹 커브의 반치폭을 측정 한 결과가 그림 3에 나와 있다. 5 mW 의 경우에는 거리에 상관없이 반치폭이 거의 일정하므로 레이저에 의해 격자들의 변화가 거의 일어나지 않는 것으로 추측된다. 반면에 10 mW 이상의 출력에서는 가공된 영역에 가까울수록 반치폭이 증가하는 경향성을 보여준다. 즉 레이저가 입사한 지점에서 레이저에 의한 게르마늄 격자의 변형이 심해지는 것으로 이해된다. 레이저 출력이 5-100 mW 증가할 때 0 mm 에서 반치폭이 증가하는 반면, 레이저 출력을 200 mW로 더욱 증가시킨 경우 반치폭은 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 이 경우, 강력한 에너지에 의해 원자들의 재결정 (recrystallization)이 발생하여 격자의 규칙성이 향상된 것으로 추정된다. 앞으로 이에 대한 원인과 기구 (mechanism) 규명을 위해 심도 있는 연구가 필요한 것으로 생각된다.

1. Yoichi Hirayama, Minoru Obara, "Heat effects of metals ablated with femtosecond laser pulses", Appl. Surf. Sci., 197-198, 741-745 (2002)

