

초고속레이저 기반 마이크로 패키징 및 게르마늄 표면 공정 기술 개발

정세채* · 양지상

한국표준과학연구원 전략기술부 미래신수요측정그룹, 대전 305-340

(2006년 12월 15일 받음)

전자 산업의 발달과 더불어 더욱 더 작은 구조물의 제작을 위한 새로운 물질공정 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 물질 고유의 물리적인 성질을 유지하면서 초미세 공정이 필요한 시점에서 기존의 전통적으로 사용하여 왔던 기계적인 방법과 레이저 공정은 공정 분해능의 한계와 물리화학적 변형 때문에 최종 부품의 성능저하와 불량률을 증가시켜 많은 문제점을 내포하고 있다. 반면에 고효율 펄스 레이저 기반 물질 공정 기술은 기존 레이저 공정에 비해 열적 손상이 매우 작기 때문에 최근 많은 분야에서 큰 관심을 불러일으키고 있다. 본 해설 논문에서는 박형 실리콘 기판의 마이크로 패키징 및 게르마늄 표면 공정을 통한 나노구조체 형성에 대해 본 연구진에서 발표한 최근의 개발 내용을 중심으로 관련 연구 분야를 소개하고자 한다.

주제어 : 초고속레이저, 미세공정, 박형기판, 나노구조체

I. 서 론

지속적인 공정 크기 감소는 많은 전자부품과 MEMS 구조물 제작, 의료 및 의학 분야에서의 초미세 수술기법과 살아있는 세포의 조작 등에서 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 특히, 산업이 발전함에 따라 함께 사용되는 물질의 전기적, 광학적, 기계적 특성의 고품질화는 더욱 더 좋은 특성의 미세공정에 대한 기술적인 발전을 요구하고 있다. 현재 대량 생산 공정에서 일반적으로 사용되고 있는 기존의 다이몬드 칼날 혹은 톱날 등에 의한 기계적인 공정이나 비교적 긴 레이저 펄스를 기반으로 하는 레이저 공정 기술들은, 이상의 첨단 소재에 적용함에 있어서 기계적 혹은 물리화학적 변형을 최소화하며 공정 분해능이 10 마이크로 이하로 낮추는 기술적 진보가 아직 이루어지지 않고 있다. 한 예를 들어 기계적인 공정에서는 대상 물질의 경도 및 깨짐 성질의 증가에 따라 기계적인 손상으로부터 더 이상 자유롭지 못한 실정이며, 자외선 영역의 레이저를 기반으로 한 공정기술은 물질의 광학 특성에 손상을 주고 공정 대상 물질의 두께가 감소함에 따라 발생하는 thermo-mechanical 과정에 의한 기계적인 미세 균열 발생을 피할 수 있는 기술적인 진보가 아직 이루어지지 않은 실정이다.

한편 초고속 레이저를 기반으로 한 미세공정 기술은 기존의 미세 공정 기술들과는 다른 공정 기작을 통하여 물질

이 공정되므로 열적 기계적인 대상 물질의 손상을 최소화한다. 따라서 최근 그 활용성에 대하여 다양한 분야에서 그 응용 기술 개발이 전 세계적으로 매우 활발하게 진행되고 있다. 한편 초고속 레이저 미세 공정은 이상의 좋은 공정 특성을 갖는 반면 공정 속도 측면에서 타 공정 기술 대비 매우 낮은 공정속도가 현실적으로 산업 현장에 적용하는데 한계점을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 최근 IC 양산 분야에서 메모리 사이즈의 증가 및 mobile 전자 기기의 두께 감소에 대응하기 위하여 절대적으로 필요한 박형 실리콘 wafer의 미세 via-hole 공정 및 cutting 등 micro-packaging 응용을 목적으로 개발된 나노초 및 펄스 레이저의 결합을 통하여 개발된 hybridization 미세 고속 공정 기술과 초고속레이저와 물질의 특이적인 상호작용에 의하여 생성되는 Ge 나노구조체 형성에 대하여 기술하고자 한다 [1-5].

II. 초고속 레이저에 의한 물질 공정 기작

그림 1은 Vogel 등에 의하여 제안된 초고속 레이저의 물질 여기에 따른 고체상 플라즈마 형성과정을 통한 물질의 어블레이션 과정을 설명하는 모식도이다 [6].

최초 레이저 빔이 물질에 조사되면 원자 내 구속되어 있던 전자는 광자를 흡수하여 밴드 간 혹은 밴드 내 전이에

* [전자우편] scjeoung@kriss.re.kr

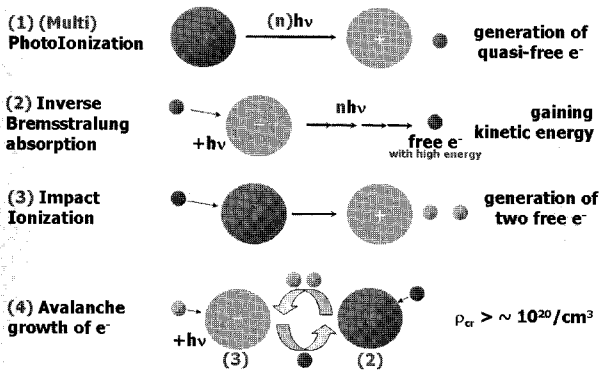


그림 1. Formation of solid plasma upon photoexcitation with fs laser

따라 자유 전자화 한다. 이때 각각의 전이 과정에는 특정한 밴드 간 전이 에너지가 결정되어 있다. 예를 들어 실리콘의 경우 직접 밴드 간 전이 (direct interband transition, DIT) 및 간접 밴드 간 전이 (indirect interband transition, IIT)의 광자 에너지는 각각 3.4 eV 및 1.12 eV이다. 한편 파장이 800 nm의 초고속 레이저 빔을 응용하는 경우 광자 에너지가 1.56 eV이므로 단일 광자에 의하여 IIT를 통하여 전자의 전이가 가능하나, DIT 전이를 위해서는 3 개 이상의 광자가 작용하는 다광자 여기 과정을 반드시 거쳐야 한다. 이상의 어떠한 경우든 레이저 빔의 조사에 공극적으로 전자를 valence band에서 conduction band로의 전이함으로써 자유 운반자를 물질 내에 생성하는 것이다. 생성된 자유 전자는 여분의 광자를 Inverse Bremsstrahlung 흡수과정을 통하여 운동 에너지가 증가한다. 충분한 정도의 운동 에너지를 갖는 자유 전자는 물질의 격자내의 타 원자와 충돌을 통한 또 다른 전자를 Impact Ionization을 통하여 발생하는 것이다. 이상의 두 과정이 반복적으로 일어나는 경우 물질에 레이저 빔이 조사된 미세한 영역 내에 자유 전자 및 정공의 밀도는 매우 빠르게 증가한다. 한편 이러한 자유 운반자 밀도가 증가함에 따라 기존의 전자-정공 충돌 및 격자에 포논을 생성하면서 일어나는 다양한 소멸 과정 등이 또한 빠르게 일어난다. 이러한 운반자의 소멸 과정은 각각 물질에서의 운반자 mobility 등 고유의 특성에 의하여 결정됨으로 물질의 공정을 설계-실시함에 있어서 매우 중요하게 고려되어야 하는 사항이다. 이러한 생성과 소멸 과정을 통하여 결과적으로 나타나는 레이저 조사량 증가에 따른 운반자 밀도의 증가는 전자-전자간의 충돌과정이 전자-격자와의 충돌 속도보다 커짐에 따라 운반자는 더 이상 독립적인 운동을 하지 않고 플라즈마와 같은

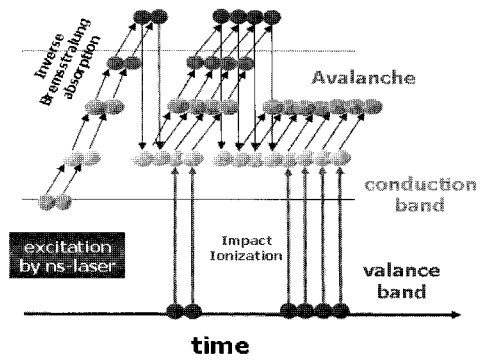


그림 2. Scheme for the enhancement of carrier density due to the pre-exposure of ns-laser during fs-laser material processing

collective motion을 하게 된다. 이러한 상황에 대한 이론적 실험적인 연구결과들은 일반적으로 운반자의 밀도가 $\rho > 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 보다 큰 경우 물질 내에서 ablative reaction을 일으키고 궁극적으로 물질이 어블레이션한다고 알려져 있다.

III. 나노초-펨토초레이저 hybridization에 의한 공정 속도 증가

서론에서 언급한바와 같이 초고속 레이저 미세 공정은 이상의 좋은 공정 특성을 갖는 반면 공정 속도 측면에서 타 공정 기술과 비교하여 매우 낮은 공정속도가 현실적으로 산업 현장에 적용하는데 한계점을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 그림 2는 본 연구에서 나노초 및 펨토초 레이저를 동시에 물질에 조사하였을 경우 일어나는 과정을 설명하고

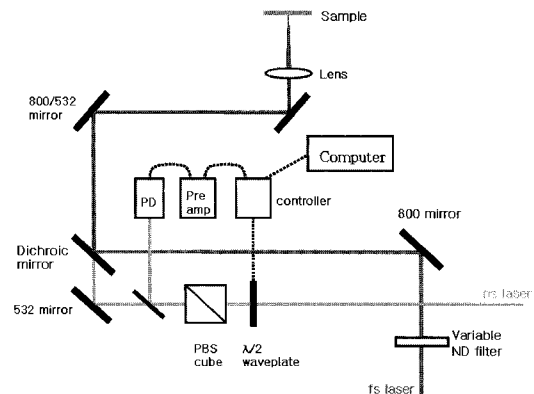


그림 3. Schematic diagram of the hybridization laser processing setup

있다. 나노초에 의하여 조사된 영역에서 광자의 흡수에 따른 운반자의 생성은 실리콘 격자와의 충돌에 의한 relaxation을 통하여 기판의 온도가 증가할 것이다. 이때 조사량을 적절히 조절하면 비가역적인 물질 공정이 되지 않으나 과도적으로 물질의 상태를 변화시켜 자유 운반자의 밀도를 어느 정도 올릴 수 있다. 이때 펨토초 레이저를 동시에 조사하는 경우 같은 조사량의 펨토초 레이저 단독으로 조사한 경우보다 월등하게 큰 운반자 밀도를 생성할 수 있으며 이는 손쉽게 고체상 플라즈마를 생성할 수 있는 결과를 얻을 수 있다.

그림 3은 이상의 원리를 적용하기 위하여 고안된 실험 장치를 보여주고 있으며 그림 4는 실리콘 기판에 이상의 방법을 나노초와 펨토초 레이저간의 지연시간을 각각 조절하여 얻어진 공정 표면의 AFM 및 SEM 이미지를 보여주고

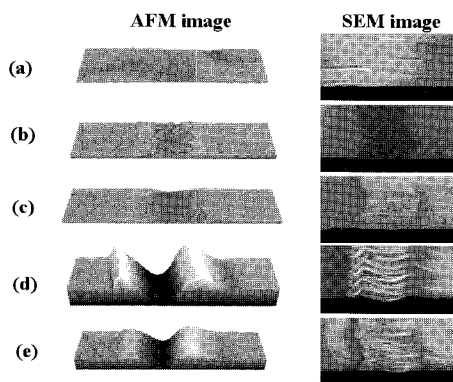


그림 4. AFM and SEM images of the processed Si wafer surfaces for (a) the nanosecond laser only and (b) the femtosecond laser only, and hybridization processing with a time delay of (c) -300, (d) 0, (e) +300 ns.

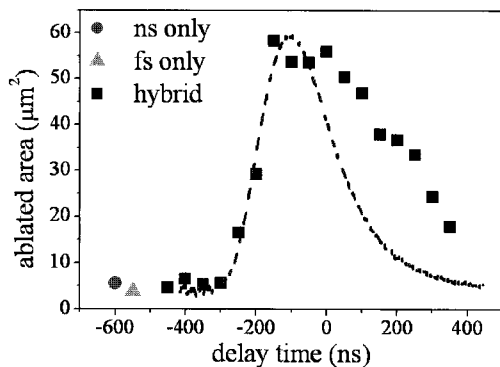


그림 5. Cross-sectional ablation area of a silicon wafer as a function of delay time. The temporal feature of nanosecond laser pulse (dotted line) is shown for comparison.

있다. 공정된 부분의 공정 속도는 지연 시간에 매우 의존함을 보여주고 있으며 특히 (a)와 (e)에서 나타나는 실리콘 기판의 기계적인 충격에 의하여 나타나는 미세 균열이 나노초와 펨토초 레이저의 지연시간을 적절하게 조절된 경우 완전히 극복될 수 있음이 주목할 만한 사항이다. 공정 속도의 비선형적인 증가현상을 정량적으로 알기 위하여 그림 5에서 보여주는 바와 같이 가공 면적을 지연시간에 따라 측정하면 지연시간이 0인 경우 나노초나 펨토초 레이저를 단독으로 이용하여 공정한 경우에 비하여 13배 이상의 공정 속도 증가를 이룩할 수 있으며 현재 이 값을 최적화하여 공정 속도를 최대화하기 위한 연구를 계속적으로 수행하고 있다.

IV. 펨토초레이저 기반 Ge 나노구조체 형성

게르마늄은 실리콘에 비해 전자이동도가 높은 장점에도 불구하고 안정된 산화막 형성의 어려움 및 접합에서의 높은 누설전류 등 단점으로 인해 현재까지는 적외선 렌즈 등의 광학 소자로 그 응용이 제한되어 왔다. 이로 인해 게르마늄은 실리콘처럼 공정 기술이 체계화되어 있지 않을뿐더러

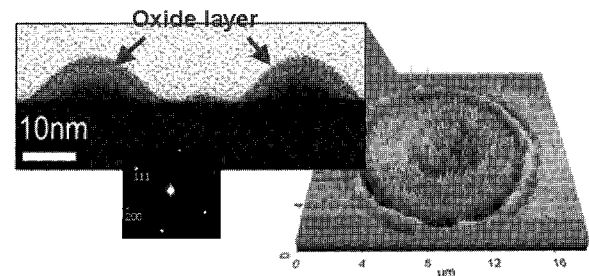


그림 6. AFM and TEM images of formed Ge nanostructure

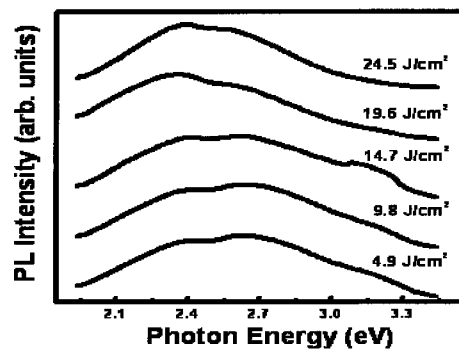


그림 7. Room-temperature PL spectra as a function of fs-laser fluence

러 그에 대한 기초 연구가 부족한 실정이다. 특히 나노구조체 형성에 대해서도 많은 연구가 되어 있지 않은 실정이다. 한편 그림 6은 고출력 펨토초 레이저를 단결정 Ge wafer에 조사한 후 조사된 면에 대한 AFM 및 TEM 이미지를 보여주고 있다. 현재 이러한 방법으로 제작된 나노구조체는 그림 7에서와 같이 상온에서 비교적 강한 광발광 현상을 실험적으로 확인하였으며, 공정 조건을 다양하게 바꾸어 나노구조체의 크기 및 특성의 변화에 대한 연구를 수행하여 그 결과를 보고한 바 있다 [2,3].

감사의 글

본 연구는 펨토초레이저 공정 원천기술 개발 및 나노바이오 융합사업을 통한 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

- [1] M. Park, et al. Optics and Lasers in Engineering **44**, 138-146, (2006).
- [2] M. A. Seo et al. Optics Express **14**, 3694 (2006).
- [3] M. A. Seo et al, Optics Express **14**, 4908 (2006).
- [4] J. R. Nam et al. Chem. Phys. Lett. **427**, 210 (2006).
- [5] J. S. Yahng et al. Optics Express **14**, 9544 (2006).
- [6] A. Vogel, J. Noack, G. Hüttman, and G. Paltauf, Appl. Phys. B **81**, 1015 (2005).

Application of Ultrafast Laser for Micro-packaging and Germanium Surface Processing

S. C. Jeoung* and J. S. Yahng

Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340

(Received December 15, 2006)

Much interests has been drawn for noble micro-engineering processes for the continuous size reduction on bulk materials from the field of micro-electronics with much downsized IC chips. A traditional microprocessing based on mechanical blade as well as a relatively long pulsed laser usually influence the physico-chemical properties of intact materials when the techniques are applied to process materials with a spatial resolution less than 10 microns. Meanwhile, ultrafast laser pulses are known to exhibit a very small heat-affect zone (HAZ) compared to the traditional laser processing and to be applicable for the new functional materials with high performance in optical and electrical properties. In this report, we will review in brief the recent research works on the enhancement of micro-cutting speed of thin silicon wafer as well as the formation of Ge nanostructures based on ultrafast laser pulses.

Keywords : Ultrafast Laser, Microprocessing, Thin wafer, Nanos

* [E-mail] scjeoung@kriss.re.kr