

이온빔 기술 리뷰

이태호*

A Review of Ion Beam Technology

Tae - Ho Lee*

ABSTRACT

In this paper, ion beam technology was investigated mainly through the published papers. There are two different types of method application. One method is to remove the material from the substrate, the other one is deposited to the surface of the substrate or specimen. Based on the literature review there are 3-4 times more published research papers related to the deposition than those of the removal.

초 록

본 논문은 이온빔 기술에 대하여 발표된 논문을 중심으로 조사하였다. 이온빔의 기술은 기질이나 가공물에서 표면을 깎아내는 기법과 이와 반대로 표면에 이온을 증착 개질 시키는 두 가지로 크게 대별할 수 있고 문헌상으로는 후자가 더욱 활발하다.

Key Words: Ion Beam Milling (이온빔 밀링), Ion Beam Deposition (이온빔 증착), Focused Ion Beam(집속 이온빔)

1. 서 론

이온빔 가공 기술은 21세기를 살아가는 우리에게 가장 현실적으로 다가오는 기술 분야중 하나라 하겠습니다. 거대한 기계 가공이 있는가하면 아주 미세한 부품의 정밀 가공이 필요한 시기이기 때문입니다. 집적회로, 웨이퍼 등 반도체 산업과 RF, 마이크로 서킷 등 정밀 미소 전자기기의 전자, 통신 산업에 또 마이크로 렌즈

나, 비구면 무반사경 등의 광학, 나아가 의료기 부품, 운활과 내구성 제품에 이르기까지 이온빔 가공기술의 적용범위는 한 없이 다양하다.

특히 방위산업 군사용 부품, 즉 광학 분야나 미소 전자 기기를 포함하여 특수 재료의 이온 코팅 등 그 사용 용도가 확대되고 있다. 특히 이온빔 가공기술은 한 가지 기법만이 있는 것이 아니라 여러 가지 방법으로 적용되고 있어, 그 적용성이 또한 다양하다. 일반적으로 부품의 표면을 깎아내는 밀링 또는 에칭에서부터 3차원적인 가공도 있고, 반면에 이온빔을 이용하여 부품 표면에 새로운 이온을 입히는 증착 기술도 있다.

* KISTII(한국 과학기술정보연구원), ReSeat 프로그램 전문 연구원

† 교신저자, E-mail: Itaho0547@reseat.re.kr

이온을 이용한 가공기술은 어휘에서 보듯이 이온을 이용하는 것으로 기술 자체가 첨단이며 또 가공 방법과 적용 범위도 다양하여 꾸준히 연구 개발 되어 오고 있다. 이러한 상황에서 세계 여러 나라의 기술과 연구 개발 상황을 체계적으로 분류 조사하는 것은 매우 중요한 일이다. 이런 관점에서 집속 이온빔의 연구, 개발, 발달 상황을, 삭마형 가공과 이온빔을 이용한 이온 증착 기술 등으로 나누어 조사하고자 한다.

2. 삭마형 이온빔 가공

가. 이온빔 밀링기술

이온빔 밀링은 불활성 가스의 이온빔을 기질의 표면에 투사하여 표면의 원자를 튕겨나가게 함으로서 표면을 깎아내는 것으로 이온빔 밀링 또는 이온빔 에칭이라고 한다.

이온빔 밀링은 특히 정밀한 얇은 홈(grooves) 가공에 효율적이며, 규칙적인 피트 어레이(array) 생산에 효과적이다. 피트의 폭은 5에서 200 μm 이고 깊이는 1 mm 까지 가능하다.

Figure 2에 집속이온빔 밀링 가공의 일반적인 개략도를 표시하였다. 가공하고자 하는 영역을 빔이 주사(scanning)해 가면서 지나가고, 한 방향으로만 진행하고 있어 가공이 끝난 지점에서는 다시 돌아오는데, 이때는 블랭킹(blanking)이 되어 빔이 스캐닝하지 않는다.⁵

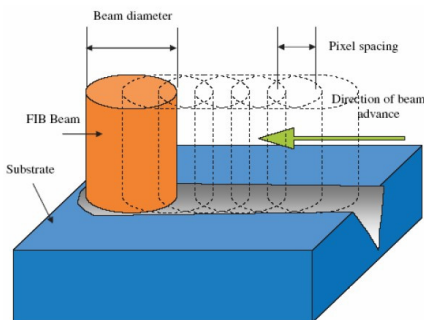


Fig. 1 Schematic of ion beam milling⁵

집속이온빔 밀링을 하기 위해서는 액체금속 이온소스(LMIS)부터 시작한다. Giannuzi 등은 갈륨 저장소가 뿔죽한 텅스텐 바늘에 접촉하도록 위치시켜, 갈륨이 바늘을 적시면서 텅스텐 팁으로 흘러가게 하였다. 반경이 5-10nm인 콘으로 액체 갈륨을 끌어들이기 위하여 강한($> 10^8 \text{ V/cm}^2$) 추출이 필요하고, 장의 이온화 결과로 이온이 분출되며, 집속이온빔 기둥으로 가속되게 하여 사용하였다¹.

나. 이온빔 머시닝

이온빔의 가공 기술은 광학 분야에도 많이 활용되고 있다. 이온빔을 이용하여 비구면(aspheric) 표면 형상의 렌즈 가공에 대한 연구도 많이 진행되어 왔다. 반도체 레이저에 부착하는 반사경(reflector)의 정밀 가공에 이 방법을 사용하고 있다.

Kitamura 등이 집속이온빔 가공 기술로 마이크로 렌즈 가공을 하였다(2002)⁴. 이온빔 가공 기술은 갈륨 이온 소스로부터 추출된 이온을 집광 렌즈를 거쳐 작업 물에 대물렌즈를 통해 보낸다. 편향기가 집속 이온빔으로 주사(scan)하여 가공한다. 이 때 주사 체류 시간은 매 지점에서 마다 필요 시간만큼 디지털로 정해놓고 가공한다. 기본적으로 이온빔 가공기술은 작업 물에 이온빔을 주사함으로써 가공하는 것이라고 말할 수 있다.

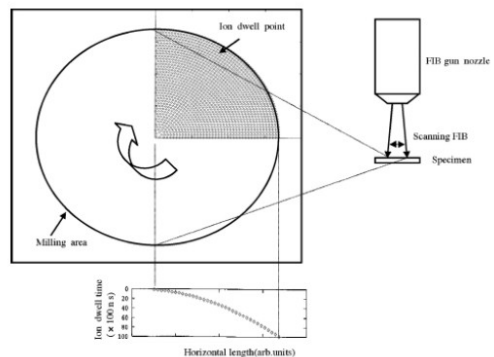


Fig. 2 ion beam dwell time

3. 이온빔 증착 기술

가. 이온빔 주입

이온빔 주입은 소재 속으로 다른 종류의 이온들을 강제적으로 집어넣어 물질의 물리적 전기적 성질을 바꾸는 과정이다. 이 기술은 1940년대 Oak Ridge Laboratory에서 Manhattan Project를 개발하던 시절부터 보고 있다. 1970년대에 들어 이온빔 주입은 반도체, 금속, 절연체, 세라믹 등의 전기 특성을 변형시키는데 아주 중요한 기술이 되었다. 근년에 와서는 계속되는 집적회로 트랜지스터의 소형화로 컴퓨터 칩의 생산에 이온빔 주입이 표준 기술로 되었다.

이 기술은 적은 수의 주입 입자들로서 물질의 전기적 물리적 성질을 크게 변화시킬 수 있어 반도체 같은 재료에 가장 적합한 방법이다. 이온 주입에 의한 표면 개질은 이온의 종류, 에너지 그리고 플럭스(flux)에 의존되며, 고체 속으로 들어가는 이온의 총 수량은 이온 플럭스와 이온 주입 시간에 따라 정해진다.

나. 이온빔 증착

이온빔 증착은(IBD: ion beam deposition) 이온 빔을 기판에 조사시켜 얇은 피막(film)을 형성하는 것이다. 많은 경우에 제 2의 이온 소스를 사용하는 이온 보조 증착이나 화학 증발 증착과 병행하여 운용하는 경우가 많다. 이온빔 증착은 특히 금속 산화물이나 금속 질화물 피막을 형성하여 소재의 안정성(stability), 밀도, 유전성(dielectric)과 광학적 특성을 개선시키는데 사용한다.

이온빔 증착은 주로 재료의 코팅에 사용하는데 일반적인 재료의 코팅은 내마모성이나 부식에 대한 저항을 갖는 이온을 채택하여 공구 수명을 향상시키고 있다. 또 하나의 큰 분야는 광학 분야로서 코팅을 통하여 빛의 반사를 없애 투명한 렌즈를 만드는데 필수로 사용된다. 이온빔 증착이 사용되는 중요한 분야의 하나는

광학으로 빛의 반사를 없애 렌즈 가공 등에 활용한다. 이 때 코팅의 두께는 소재의 굴절률(refractive index)과 상쇄간섭 효과를 최대한으로 활용하여, 위상차에 의한 반사율을 영(zero)으로 만드는 과정이 수반된다.

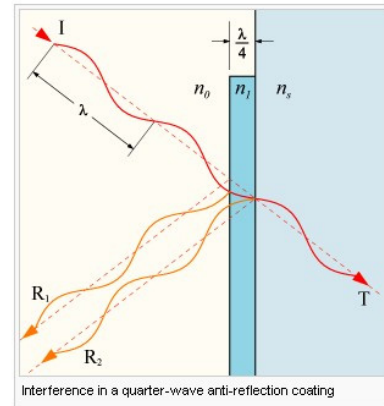


Fig. 3 Interference in a quarter wave

다. 이온빔 보조 증착

이온빔 보조 증착은 다른 증착 방법과 함께 작업되는 과정으로, 진공 증발 증착과 함께 수행되거나, 화학 증착 또는 펄스 레이저 등과 같이 사용되기도 한다.

이온 충격을 통한 이온빔 보조 증착은 얇은 피막 형성 기술에 뛰어난 장점을 보이고 있다. 접착력이 매우 증대될 뿐 아니라, 형태, 밀도, 응력 레벨, 결정도(crystallinity), 화학적 구성을 조절할 수 있다.

이온빔 증착의 다른 방법은 이온빔을 기질에 직접 투사하는 것이 아니고, 목표물(Target)에 투사하고, 이 때 목표물에서 스퍼터링된 이온을 기판에 증착시키는 방법이다. 이것은 증착시키고자 하는 물질을 직접 이온화시키기가 용이하지 않을 때에 아주 적합할 것이다. 광학 코팅에 많이 사용되고 있으며, 이온빔 보조 증착이라기보다는 이온빔 간접 증착이라 할 수 있다.

4. 학술 정보 분석

ISI Web of Knowledge 플랫폼에서 Web of science를 활용하여 1986년부터 현재(2010.8)까지 발표된 이온빔에 관한 학술 정보를 조사하였다. Fig. 4에 이온빔 가공과 관련하여 소분야별로 토픽으로의 검색 건수를 비교하여 보았다. 삭마형 가공으로 볼 수 있는 밀링과 머시닝, 에칭의 합이 40%이고, 증착형인 주입. 증착과 보조증착에 관한 것이 60%이었다. 삭마와 증착의 비율이 2:3 으로 증착에 관한 것이 많았다.

이러한 분야별 내용을 볼 때 삭마형 가공 보다는 증착형 가공기술에 더 많은 노력을 경주하고 있음을 알 수 있다.

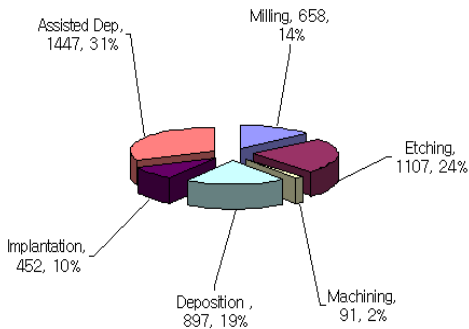


Fig. 4 Topics of published papers of ion beam

국가별로 논문 발표가 활발했던 나라는 역시 미국이 단연 우위를 차지하고 있고 뒤이어 일본, 독일, 중국 순으로 나타나고 있다. 프랑스, 영국에 이어 우리나라는 10대 국가 중 7위에 위치하고 있다. 전 세계적으로 보아 10대 국가 중에 7위에 속한다는 것은 상대적으로 활발한 활동으로 여겨지나 논문의 절대 양을 보면 233편으로 전체 논문 수(4,620) 대비로는 5%에 불과하다. 미국과 일본이 각각 1,164와 866 편으로 전체 논문에 25%, 19%를 차지하고 있다.

결 론

문헌 검색을 통하여 기술의 연구 개발 상황을 보면 삭마형 가공 기술에 비하여 증착형 가공기술에 관한 논문이 약 4-5배 정도 많았다. 삭마형 가공기술은 주로 이온빔 밀링이고, 흡착형은 이온빔 보조 증착이 이온빔 증착 보다 많아, 이온빔 단독으로 증착하는 것보다는 보조 증착으로 다른 기법과 같이 수행하는 것이 많음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. L. A. Giannuzzi, F. A. Stevie. "A review of focused ion beam milling techniques for TEM specimen preparation", *Micron*, 30, pp.197-204, 1999
2. J. Hazekamp, S. Doherty, A. Elasseer, C.A. Barns, B.M. G. O'Hagan, C. Meckker, C.V. Howard, "Focused ion beam milling at grazing incidence angles", *Journal of Microscopy*, 242, pp.104-1108, 2011
3. T. Masuzawa et al, T. Masuzawa, Y. Yishida, H. Ikeda, K. Oguchi, H Yamagishi and Y. Yakabayashi, "Development of a local vacuum system for focused ion beam machining", *Review of Scientific Instrument*, 80, pp.0737081-5, 2009
4. M. Kitamura, E. Koike, N. Tkasu, T. Nishimura, "Focused ion beam machining for optical microlens fabrication", *Japan Journal of Applied Physics*, 41, pp.4019-4021, 2002
5. "A new approach to reduce geometric error in FIB fabrication of micro structure", 연세대학교 공과대학 기계공학부 나노 생산 연수센터, NMRC-05-05, pp.1-18, 2005