

Graphite Sheet를 이용한 X-ray Mask 제작

조진우, 홍성제, 박순섭, 신상모
전자부품연구원

Fabrication of X-ray Mask Using Graphite Sheet

Jin Woo Cho, Sung Jei Hong, Soon Sup Park, Sang Mo Shin
Korea Electronics Technology Institute

Abstract - LIGA 기술을 제품의 대량생산에 적용하기 위해서는 한번에 넓은 면적을 노광할 수 있는 X-ray 마스크가 요구된다. 기존에 널리 사용되고 있는 SiN 멤브레인 마스크는 내구성이 좋지 않고 면적을 크게하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 상용 graphite sheet를 이용하여 X-ray 마스크를 제작하였다. 제작된 graphite 마스크와 SiN 마스크를 이용하여 동일한 조건에서 X-ray 노광 실험을 하였고 마스크의 외형변화를 관찰하였다. 그 결과 SiN 마스크는 에너지 2.3GeV, 평균 전류 110mA에서 약 18시간 만에 파괴되었으나 graphite mask는 60시간 경과 후에도 육안상의 변화는 관찰되지 않았다. 또한 graphite 마스크를 이용하여 제작된 미세구조물의 치수측정결과 오차가 1 μ m 미만인 정밀한 구조물 제작이 가능함을 확인하였다.

1. 서 론

LIGA (Lithographie, Galvanoformung, Abformung) 기술은 X-ray 사진 식각, 전주 도금 및 플라스틱 사출 공정을 통하여 3차원의 미세 구조물을 제작하는 정밀 가공기술이다. LIGA 기술을 이용하면 높이가 수백 ~ 수천 μ m 이면서 선폭이 수 ~ 수십 μ m 인 고종횡비의 미세 구조물을 제작할 수 있다. 또한 제작된 구조물은 1 μ m 미만 정밀도를 유지할 수 있으며 다양한 재료로 구조물을 제작할 수 있다는 장점이 있다¹⁾. 최근들어 정밀 미세 구조물에 대한 관심이 높아지면서 LIGA 기술은 새로운 정밀 가공 기술로 각광을 받고 있다. 현재 LIGA 기술은 정밀 센서, 광부품, 의료기기등의 소자 가공기술로 이용되고 있으며 그 활용도는 앞으로 더욱 커질 것으로 전망된다. 그러나 LIGA 기술을 제품생산에 적용하기 위해서는 생산성, 공정 단계 등의 문제점들을 해결하여야 한다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 X-ray 마스크를 대면적화하여 한번에 넓은 면적을 노광하는 것이 필요하다. 이를 위해선 Au 흡수체를 받쳐 주는 기판의 내구성이 기존의 SiN 멤브레인 보다 우수하여야 한다. 즉, 장시간의 노광에서도 변형이 없이 원래의 pattern을 유지할 수 있으면서 x-ray 투과성이 우수한 기판을 선택하여야 한다.

X-ray 마스크는 X-ray를 투과시키는 멤브레인과 투과를 억제시키는 흡수체로 구성된다. 기존 LIGA 공정에서 사용되는 X-ray 마스크는 2 μ m 두께의 SiN 멤브레인 위에 Au 흡수체가 형성된 구조로 되어있다. 그러나 SiN 멤브레인 마스크는 제작 공정이 복잡하고 단가가 비싸다. 또한 작은 충격에도 파손되기 쉬우며 노광시간에 따른 사용 수명이 짧은 단점이 있다. 이로 인해 X-ray 노광 면적 및 시간은 제한되며 따라서 상용화에 적용하기에는 어려움이 있다.

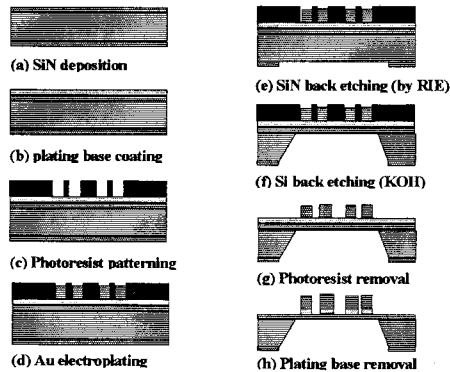
따라서, 본 연구에서는 제작단가를 낮추면서 내구성이 개선된 대면적 X-ray 마스크 제작에 관한 연구를 하였다. 사용된 마스크의 기판 재질로는 X-ray 투과성이 우수하며 비교적 높은 열전도도를 갖는 상용 graphite sheet를 이용하였다. 또한 내구성 비교를 위해 SiN 멤-

브레인 형태의 마스크를 제작 및 노광하여 동일한 x-ray 노광 조건하에서 평가하였다. 제작된 graphite sheet X-ray 마스크를 이용하여 LIGA 구조물을 제작하였고 광학현미경, 전자현미경 등을 통하여 관찰, 평가하였다.

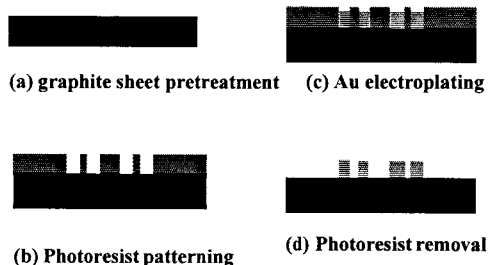
2. 본 론

2.1 X-ray 마스크 제작

두가지 종류의 X-ray 마스크의 제작 공정을 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보듯이 SiN 멤브레인 마스크의 제작 공정이 graphite sheet X-ray 마스크에 비해 매우 복잡하다.



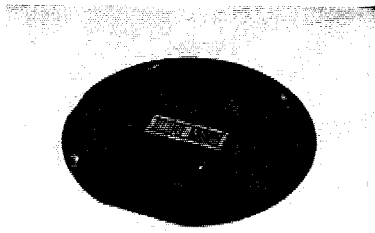
- SiN 멤브레인 X-ray 마스크 -



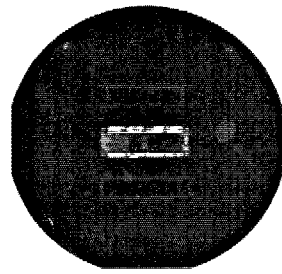
- Graphite sheet X-ray 마스크 -

Fig. 1. X-ray 마스크 제작 공정

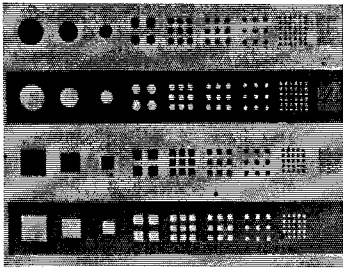
이와 같은 공정으로 제작된 SiN 멤브레인 형태의 X-ray 마스크를 그림 2에 나타내었다. 마스크 멤브레인의 재질은 감광층인 PMMA의 두께, 광투과도등을 고려하여 적절히 선택하여야 한다. X-ray 노광시 마스크에 축적된 photon energy는 많은 열을 발생시키며 이로 인해 마스크는 변형 혹은 파괴될 수 있다. 따라서 X-ray



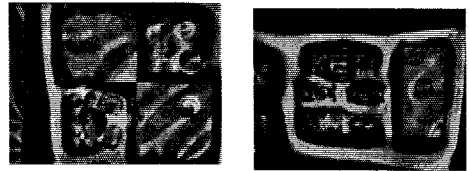
(a) X-ray 마스크



(a) 멤브레인이 파괴된 모양



(b) 확대 사진 (마스크 흡수체 패턴)



(b) 확대 사진

Fig. 2. SiN 멤브레인 형태의 X-ray 마스크

마스크는 Young's modulus 및 열전도도가 큰 재료를 사용한다. 일반적으로 사용되고 있는 SiN 멤브레인은 박막화가 용이하고 X-ray 투과성이 우수하며 표면 roughness가 낮은 것으로 알려져 있다. 그러나 SiN 멤브레인은 표 1에서 보듯이 Young's modulus 값이 상대적으로 작기 때문에 흡수체 패턴 형성 후 X-ray 노광시 축적되는 에너지에 의해 멤브레인은 변형될 가능성이 크다. 또한 열전도도가 낮기 때문에 노광시 발생하는 열에 의해 Au 흡수체와의 계면응력이 커질 수 있다.

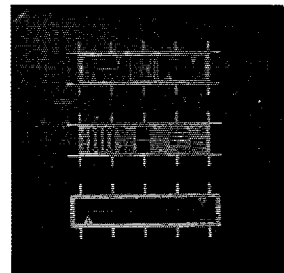
Table 1. 마스크 재질에 대한 특성 값

	Young's modulus ($\times 10^{12}$ dyn/cm ²)	열전도도 (W/cm · deg ⁻¹)	Density (g/cm ³)
SiN	1.6	0.2	3.18
graphite	2.6	1.2	1.8
Au	0.88	3.1	19.3

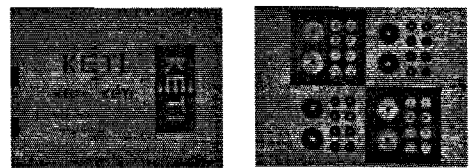
그림 3은 3×1.5 cm²의 노광면적을 갖는 SiN 멤브레인 X-ray 마스크를 입사에너지 2.3GeV, 평균 전류 110mA의 X-ray로 18시간동안 노광했을 때 나타난 마스크의 변화이다. 그림에서 보듯이 마스크의 SiN 멤브레인이 파괴되어 있다. 이는 X-ray 노광시 발생하는 stress에 의한 마스크 멤브레인이 견디지 못하고 파괴된 것으로 보인다. 즉 x-ray 노광 시간이 경과하면서 발생하는 열에 의해 Au 흡수체와 SiN 멤브레인 사이의 열전도도 차이 및 계면 응력이 커지고 이로 인해 마스크 멤브레인이 견디지 못하고 파괴된 것으로 추정된다. 따라서 SiN 멤브레인 마스크는 X-ray 조사에 의해 멤브레인이 파괴됨을 알 수 있었고, 이를 개선할 수 있는 새로운 마스크가 요구되었다.

2.2 Graphite X-ray 마스크

본 실험에 사용된 graphite sheet는 Good fellow사에서 제작된 것이다. Table 1에서 알 수 있듯이 graphite sheet는 SiN 멤브레인에 비하여 Young's modulus 및 열전도도가 크다. 또한 250 μ m의 두께에도 불구하고 X-ray 투과성이 매우 우수하다. 따라서 상용 graphite sheet는 X-ray 마스크 제작에 적합한 재료로 판단되었다. 제작된 graphite X-ray 마스크를 이용하여 SiN 멤브레인 마스크와 동일한 조건하에서 X-ray 노광을 하였고 시간에 따른 변화를 관찰하였다. 그림 4는 graphite X-ray 마스크를 X-ray에 60시간 동안 노출시킨 후의 형상을 관찰한 결과이다.



(a) 60시간 노광후 마스크 모양



(b) 확대 사진

Fig. 4. 60시간 노광 후 graphite X-ray 마스크

Graphite X-ray 마스크의 경우 그림 4에서 보는 것처럼 장시간 동안 X-ray에 노출되어도 기판 파괴나 Au 흡수체 패턴의 외형상의 변화는 관찰되지 않았다. 이는 graphite sheet의 높은 열전도도로 인해 X-ray 노광에 의해 발생하는 열을 빠른 속도로 외부로 방출하고, 이로써 열로 인해 발생하는 내부응력을 해소하였기 때문인 것으로 보인다. 또한 두께가 250 μm 인 graphite sheet는 SiN 멤브레인에 비해 상대적으로 큰 강도를 갖기 때문에 발생응력을 극복할 수 있는 것으로 추정된다. 따라서 두께 250 μm 의 graphite sheet를 이용하여 X-ray 마스크를 제작한 결과 마스크의 내구성이 개선되었음을 알 수 있었다.

2.3 Graphite sheet X-ray 마스크를 이용한 LIGA 구조물 제작

내구성이 개선된 graphite X-ray 마스크를 이용하여 미세구조물을 제작하였다. X-ray 노광은 포항 가속기 시설을 이용하여 실시하였다. X-ray 감광층은 두께 100 ~ 300 μm 의 PMMA(Poly Methyl Methacrylate)를 사용하였다. 그림 5는 X-ray white beam이 각 filter를 투과하면서 나타나는 spectrum의 변화를 보여준다. 그림에서 최종적으로 graphite 마스크를 투과한후의 X-ray의 파장 범위는 약 0.5 ~ 3.5 \AA 이다

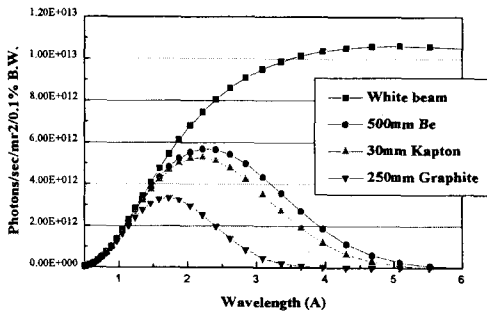
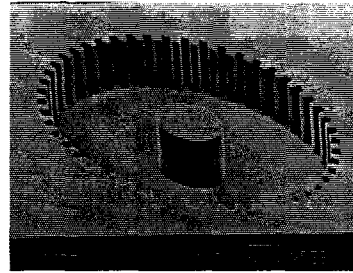


Fig. 5. X-ray spectrum

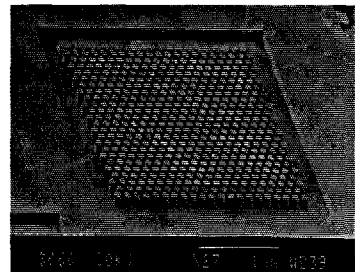
이를 이용하여 X-ray를 노광 및 현상한 결과 그림 6에서와 같이 여러 가지 모양의 정밀한 구조물이 제작되었다. 구조물의 정밀도를 측정된 결과 설계치로부터의 치수오차가 1 μm 미만이었다. 따라서 graphite X-ray 마스크를 사용하면 내구성이 우수할뿐만 아니라 반복적으로 장시간 사용하여도 치수변형이 거의 없는 정밀한 미세구조물을 제작할 수 있다.

3. 결 론

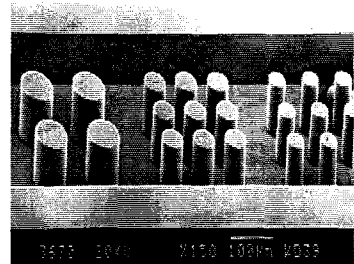
본 연구에서는 LIGA 기술을 상용화에 적용하기 위한 일환으로 graphite 재질의 sheet를 이용하여 X-ray 마스크를 제작하였다. 내구성을 실험한 결과 SiN 멤브레인 X-ray 마스크는 입자에너지 2.3GeV, 평균 빔 전류 110mA의 X-ray 조사 조건에서 18시간만에 멤브레인이 파괴되었다. 그러나 graphite X-ray 마스크는 동일한 조건하에서 60시간 이상을 노광한 후에도 Au 흡수체나 기판의 외형변화는 관찰되지 않았다. 또한 graphite X-ray 마스크를 사용하여 LIGA 구조물을 제작한 결과 sub-micron의 정밀도를 갖는 다양한 모양의 구조물을 제작할 수 있었다.



(a) Micro-gear



(b) Honeycomb



(c) 미세 원기둥

Fig. 6. Graphite X-ray 마스크를 이용하여 제작한 LIGA 미세 구조물

감사의 글

본 논문은 산업자원부와 과학기술부가 주관하는 초소형정밀기계 선도기술개발사업의 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사드리며 포항가속기연구소에도 감사를 드립니다.

[참고 문헌]

(1) J. Mohr, "The LIGA Process: a Microfabrication Technology with Applications in Medical Devices", Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi" Course CXXVIII, E. Burattini and A. Balerna, IOS Press, Amsterdam, pp. 181, 1996