

전자빔 가공시스템용 진공환경의 성능평가

강재훈*, 이찬홍(KIMM), 최종호, 임윤빈(㈜에스케이이엠)

Characteristic Evaluation of Vacuum Chamber for EBM System

J. H. Kang*, C. H. Lee(KIMM), J. H. Choi, Y. B. Lim(SKEM)

ABSTRACT

It is not efficient and scarcely out of the question to use commercial expensive electron beam lithography system widely used for semiconductor fabrication process for the manufacturing application field of various devices in the small business scope. Then scanning electron microscope based electron beam machining system is maybe regarded as a powerful model can be used for it simply. To get a complete suite of thus proper system, proper chamber with high vacuum condition is necessarily required more than anything else to modify scanning electron microscope. In this study, special chamber unit using rotary pump and diffusion pump to obtain high vacuum degree was designed and manufactured. And various evaluation tests for recognize the vacuum characteristic were accomplished

Key Words : Electron beam (전자빔), Vacuum (진공), Chamber (챔버), Rotary pump (로터리 펌프), Diffusion pump (확산펌프), Evaluation (평가)

1. 서론

반도체산업 분야와 관련한 IC 소자의 경우에 있어서는 더욱 초고집적화 되어지는 회로의 필요성에 대응하기 위하여 최근에 전세계적으로 0.13 μm 의 패턴성형 기술이 개발되어 상용화되고 있으며, 90nm 이하까지도 도달할 수 있다는 가능성을 확인한 바 있다. 상대적으로 가격이 저렴하고 사용이 용이하여 널리 적용되던 기존의 광학식 노광장비는 해상도의 한계로 인하여 가능한 최소 선폭이 약 0.2 μm 정도로 국한되며, 이보다 더욱 미세한 선폭의 경우에 있어서는 X-ray 혹은 전자빔 등을 이용한 방식에 의존하게 되는 추세이다.

이와 같은 경향은 Fig.1 에 나타낸 바와 같이 반도체 관련 기술의 개발이 더욱 가속화되면서 라인 패턴성형에 대한 요구 정도가 과거에 비하여 급속히 변화되어 2001 년에는 이미 향후 2 년 이내에 70nm 급의 초미세 선폭을 목표로 하고 있다는 것과 이러한 목표를 달성하기 위해서는 KrF, ArF 의 자외선 빔을 거쳐 보다 더 파장이 짧은 F2 의 극자외선 빔 혹은, 전자빔을 노광원으로 채택할 수 밖에 없을 것이라는 예측에 의해서도 확인할 수 있다.

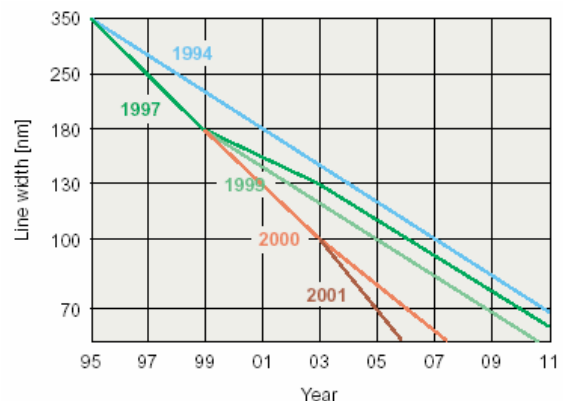


Fig.1 Down-sizing tendency prediction of pattern width in semiconductor fabrication field

그러나 최근에 개발되어 반도체 소자의 양산 공정에 적용되는 전자빔을 이용한 노광 시스템은 매우 고가인 관계로 인하여 각종 초소형 센서류와 디바이스, 렌즈 등의 마이크로 시스템, 마이크로 머신, 마이크로 부품 생산을 위한 중소기업 형태의 다품종 소량생산방식 공정이나 연구실, 교육용 규모에서의 채속조형 시작품 제조공정 등에 용이하게 적

용한다는 것은 거의 불가능하다고 할 수 있다.

따라서 이와 같은 다양한 대상 분야들에 있어서 마스크를 이용하지 않고 전자빔을 이용하여 직접 묘화식으로 가공하거나 마이크로 금형을 성형 제작한 후 간접식으로 생산제조하기 위해서는 저가 형태의 보급형 전자빔 가공시스템이 절대적으로 요구된다고 할 수 있다.

본 연구에서는 상용화된 주사식전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 비교적 간단하게 전자빔 가공을 수행할 수 있는 시스템을 구축함에 있어서 필수적으로 갖추어야 핵심부위인 챔버(Chamber Unit)의 설계, 제작과 진공환경에 대한 성능평가를 중점적으로 추진하고 있으며, 본문에서는 현재까지 추진된 결과들을 중심으로 나타내었다.

2. 주사식전자현미경을 기본으로 한 전자빔 가공시스템의 구축

현재 반도체 산업 분야에 있어서 초미세 선폭의 패턴성형을 위한 노광공정은 Fig.2 에 나타낸 바와 같이 레이저빔이나 전자빔 등을 이용하여 마스크를 제작한 후에 스텝퍼 등을 이용한 투사방식으로 패턴을 성형하거나 마스크를 배제한 직접성형 방식으로 패턴을 성형하는 형태들로 분류할 수 있으며, 아직은 여러 가지의 제반 문제점들로 인하여 직접 성형 방식이 노광공정에도 부분적으로 적용되기는 하지만 양산 라인에서 보다는 시제품용 분야에 주로 편중되거나 마스크와 미소한 구조물 등의 제작 등에 활용되고 있는 실정이다.

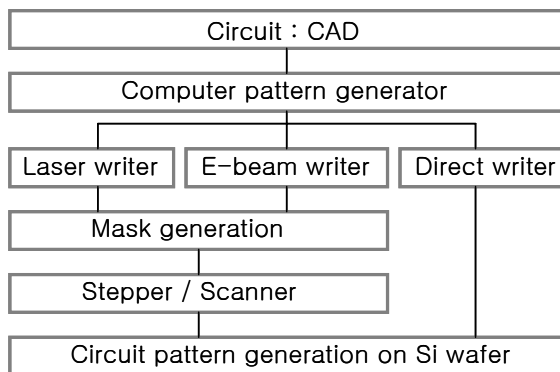


Fig.2 Various micro pattern generation types in semiconductor fabrication field

이와 같은 노광 및 직접 성형 등의 제거가공 외에도 전자빔을 응용한 분야로는 원천적인 초기의 목적인 주사식 전자현미경 측정을 비롯하여 금속재료 등의 표면개질 처리, 용접, CVD 와의 중합처리 등을 들 수 있다.

전자빔을 이용한 가공기술은 주사식 전자현미경을 사용하는 과정에 있어서 전자의 흐름을 집속하여 조사하면 집중된 에너지가 열에너지로 변환되어 대상물 표면의 일부가 용융되어져 국부적으로 소실된다는 현상으로부터 착안된 것이다.

주사식 전자현미경을 기본구조로 한 전자빔 가공시스템은 Fig.3 에 나타낸 바와 같이 고전압 발생 장치와 경통, 고진공 챔버 및 대상물을 이동하는 장치와 전기적인 제어부로 크게 분류되어 구성되며, 세부적으로 경통은 빔건 헤드유닛 및 빔집속 코일렌즈, 빔 변형기구, 빔 블랭커, 빔 스티그메이터, 빔 어퍼처, 빔 얼라이먼트 등으로 구성되는 한편, 고진공 챔버는 2 차 전자검출기와 다축제어형 조정밀 스테이지 등을 갖춘 주요 핵심 H/W 유니트들로써 구성된다.

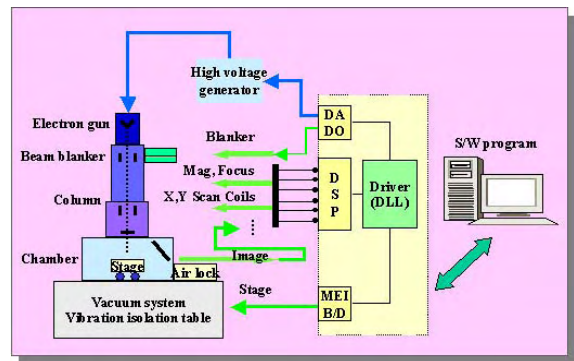


Fig.3 Schematic diagram of electron beam machining system using SEM

3. 챔버(Chamber)의 역할

경통은 Fig.4 에 나타낸 바와 같이 고전압 발생 장치로부터 생성된 가속전압에 의하여 전자빔을 형성하고 조절하는 부위로서 전자들이 광속에 유사하게 가속되도록 하는 한편, 다수의 전자기적인 코일렌즈에 의하여 패턴 성형을 수행할 수 있을 정도의 극미세한 형태를 지니는 프로브가 되도록 포커싱하는 역할을 한다.

즉, 고전압 발생장치에 의하여 발생된 고전압은 고전압 케이블에 의하여 경통의 상부에 위치한 전자빔건 헤드유닛의 필라멘트로 전달되어져 전자가 형성된 후, 음극부로부터의 이와 같은 전자들은 양극부로 이동되며 초기의 형태로 임의의 전자빔을 이루게 된다.

전자빔은 고진공 상태의 경통부로 전달되며 빔 얼라이먼트용 전자코일렌즈에서 우선 전자빔이 정렬된 후, 빔 컨덴싱용 전자코일렌즈와 빔 어브젝트용 전자코일렌즈에서 적정하게 축소되고 전달되며

빔 스캔용 전자코일렌즈에 의하여 전자빔이 주사되어진다.

빔 스캔용 전자코일렌즈는 빔 쉬프트용 전자코일렌즈와 빔 스티그네이터용 전자코일렌즈와 일체형으로 같이 구성되어 상의 이동(편향)과 비점 보정 역할을 선택적으로 수행하며 전자빔이 최종적으로 주사되도록 한다.

이와 같이 전자빔 가공 시스템의 경통부는 모두 6 종류의 전자코일렌즈가 조립, 구성되어져 최종적으로 요구되는 전자빔의 역할을 수행하게 된다.

개발하고자 하는 전자빔 가공시스템은 주사형 전자현미경을 기본구조로 하며 초미세 가공과 더불어 주사형 전자현미경의 측정기능을 수행하도록 해야 하므로 상의 이동(편향)과 비점 보정 역할을 하는 빔 쉬프트용 전자코일렌즈와 빔 스티그네이터용 전자코일렌즈가 생략되지 않는다.

그리고 전자에 예민하게 반응하는 레지스트로 도포된 실리콘 웨이퍼 등의 대상물을 임의의 위치로 이동할 수 있는 스테이지에 장착하여 전자들이 공기의 분자들과 충돌되어 분산되지 않도록 하기 위한 진공 챔버 내에 넣은 후, PC와 전기적인 회로에 의하여 시스템을 정밀 제어함으로써 전자빔 가공을 수행하게 된다.

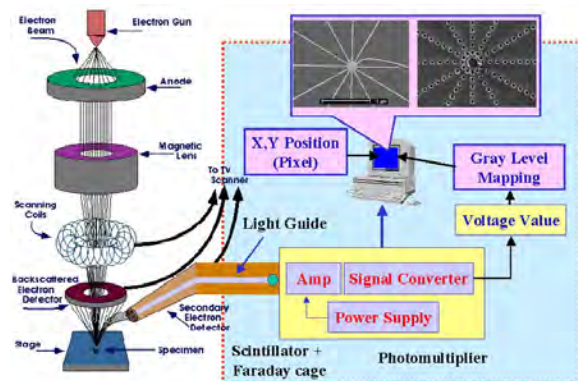


Fig.4 Principle of electron beam machining and secondary electron detecting

이와 같이 챔버는 가공 대상물을 스테이지 상에 장착하여 가공을 수행하게 되는 공간이며 경통의 하단이 챔버의 상단과 연계되어 전자빔이 조사되는 한편, 이 때 발생하는 2 차 전자를 검출하기 위한 유닛이 부착된다.

또한, 챔버 내에서 나 2 차 전자들이 산란되지 않고 안정성이 높게 조사되기 위해서는 높은 진공도가 요구되므로 적절한 진공펌프를 밸브와 연결하여 형성되도록 한다.

4. 챔버의 설계와 제작

다축 구동용 고진공 스테이지를 장착하여 대직경의 대상물도 전자빔 가공이 가능할 수 있도록 챔버의 제원을 설정하였으며 여닫이식의 도어를 전면 에 장착한 직육면체의 형태로 설계하였다.

주물에 의한 소재를 적용할 경우에 발생될 수 있는 기포의 형성이 고진공도의 형성에 문제점을 초래할 수 있으므로 스테인레스 강을 적용하여 용접으로 제작하였다. 상부는 경통과 연계되는 홀과 후부는 진공밸브와 연계되는 홀을, 측부는 관찰을 위한 홀을 형성하였으며 진공용 O-ring 으로 밀착되도록 하였다.

O-ring 들은 각각 진공용 그리스를 도포하여 적용하였으며 이 들과 밀착되는 부위는 고품위의 후가공을 적용하여 고진공도가 이뤄지도록 세심하게 배려하였다.

로터리 펌프에 의하여 1 차적인 진공도가 형성되어짐과 동시에 확산 펌프에 의하여 최종적인 고진공도가 형성되도록 하며, 이 때 진공밸브는 모터 구동식에 의하여 작동되도록 하였다.

Fig.5 에는 제작한 챔버의 전부와 측부 사진을 각각 나타내었다.

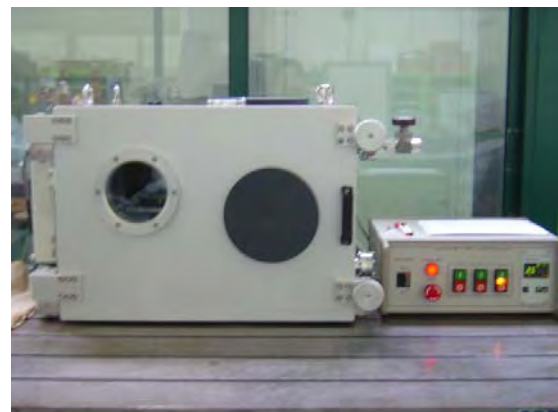


Fig.5 Photograph of manufactured chamber

5. 진공환경의 성능평가

챔버의 진공도를 확인하기 위하여 진공게이지 (Compact FullRange Gauge; 모델명 PKR251, PFEIFFER CACUUM Co, 독일)를 사용하였으며 Fig.6 에는 챔버에 장착된 사진을 나타내었다.



Fig.6 Photograph of attached vacuum gauge

일반적으로 주사식전자현미경의 경우에 있어서 챔버가 요구하는 진공도는 약 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Torr 정도이며 초기 상태에서 이와 같은 진공도가 형성되는데 소요되는 시간은 가능한 한 단축되어지는 것이 바람직하다.

Fig.7 에는 초기 상태에서 로터리 펌프를 작동하여 10, 15, 20, 30 분의 시간이 경과한 후에 확산펌프를 작동하는 경우에 있어서 시간의 경과에 따른 진공도의 형성과정을 비교하여 나타낸 것이다.

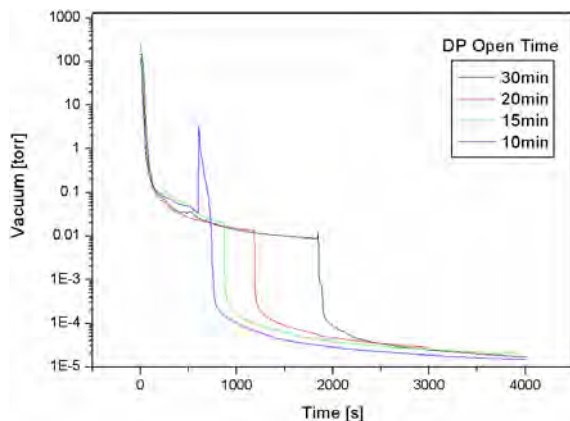


Fig.7 Comparison of vacuum degree variation according to time flow

Fig.7로부터 모든 조건에 있어서 약 30 분의 시

간이 경과한 후의 진공도는 약 $2 \sim 3 \times 10^{-5}$ Torr 에서 더 이상의 변화가 두드러지게 나타나지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

또한, 동일한 진공도를 형성하는 시점을 기준으로 하면 로터리 펌프의 작동 후 약 15 분이 경과되어 확산 펌프가 작동되는 경우에 가장 시간을 단축할 수 있어 효율적인 임계값으로 설정될 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

그러나 약 10 분의 시간이 경과한 후에 확산펌프가 작동되는 경우에는 확산오일이 미처 비등되지 않는 상태가 되어 진공도가 일시적으로 유지되지 못하고 시간도 많이 소요된다는 것도 확인할 수 있다.

6. 결론

주사식전자현미경을 기본 구조로 한 전자빔 가공 시스템을 구축함에 있어 필수적으로 요구되는 고진공 분위기용 챔버를 설계, 제작하고 진공환경 분위기의 형성에 관한 성능평가 실험을 수행하였다.

향후에는 챔버 구조물에 경통과 2 차 전자검출기 등을 장착하여 실제의 운용상태에 대한 진공환경 분위기에 대한 검증을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Jiang, N., Hembree, G., "Nanoring Formation by Direct-write Inorganic Electron Beam Lithography" Applied Physics Letters, Vol. 83, No. 3, pp. 517 - 521, 2003.