

전자빔건 헤드유니트의 설계와 제작

강재훈*, 이찬홍(한국기계연구원), 최종호((주)에스케이이엠)

Establishment of Gun Head Unit for Electron Beam Machining System

J. H. Kang*, C. H. Lee(KIMM), J. H. Choi(SKEM Ltd.)

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, column unit build up with electron beam gun head unit is necessarily required more than anything else to modify scanning electron microscope. In this study, various components included ceramic isolation plate and main body which are essentially constructed for electron beam gun head unit are designed and manufactured. And this electron beam gun head unit will be used for next connected study in the development step of scanning electron microscope based electron beam machining system.

Key Words : Electron beam machining (전자빔가공), Beam gun head unit (빔건 헤드유니트), Isolation plate (절연판), High voltage (고전압), High vacuum (고진공)

1. 서론

반도체산업 분야와 관련한 IC 소자의 경우에 있어서는 더욱 초고집적화 되어지는 회로의 필요성에 대응하기 위하여 최근에 전세계적으로 0.13 μ m의 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 μ m 정도로 국한되며, 이보다 더욱 미세한 선폭의 경우에 있어서는 X-ray 혹은 전자빔 등을 이용한 방식에 의존하게 되는 추세이다.

이와 같은 경향은 Fig.1에 나타낸 바와 같이 반도체 관련 기술의 개발이 더욱 가속화되면서 라인 패턴성형에 대한 요구 정도가 과거에 비하여 급속히 변화되어 2001년에는 이미 향후 2년 이내에 70nm급의 초미세 선폭을 목표로 하고 있다는 것과 이러한 목표를 달성하기 위해서는 KrF, ArF의 자외선 빔을 거쳐 보다 더 파장이 짧은 F2의 극자외선 빔 혹은,

전자빔을 노광원으로 채택할 수 밖에 없을 것이라는 예측에 의해서도 확인할 수 있다.

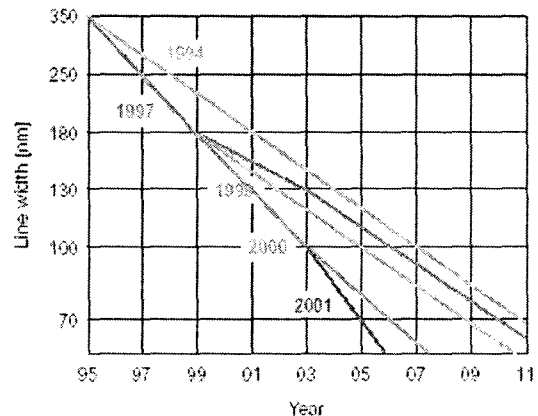


Fig.1 Down-sizing tendency prediction of pattern width in semiconductor fabrication field

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 캐속조형 시작품 제조공정 등에 용이하게 적용한다는 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 전자빔건 헤드유닛(Electron Beam Gun Head Unit)의 제작을 중점적으로 추진하고 있으며, 본문에서는 현재까지 추진된 결과들을 중심으로 나타내었다.

2. 주사식 전자현미경을 기본으로 한 전자빔 가공 시스템의 구축

현재 반도체 산업 분야에 있어서 초미세 선폭의 패턴성형을 위한 노광공정은 Fig.2에 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 직접성형 방식이 노광공정에도 부분적으로 적용되기는 하지만 양산 라인에서 보다는 시제품용 분야에 주로 편중되거나 마스크와 미소한 구조물 등의 제작 등에 활용되고 있는 실정이다.

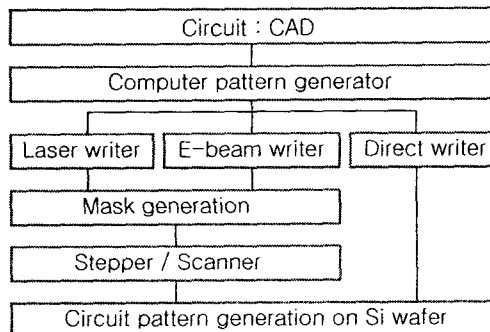


Fig.2 Various micro pattern generation types in semiconductor fabrication field

이와 같은 노광 및 직접 성형 등의 제가공의

에도 전자빔을 응용한 분야로는 원천적인 초기의 목적인 주사식 전자현미경 측정을 비롯하여 금속재료 등의 표면개질 처리, 용접, CVD와의 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.3에 나타낸 바와 같이 고전압 발생장치와 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 어퍼쳐, 빔 얼라이먼트 등으로 구성되는 한편, 고진공 챔버는 2차 전자검출기와 다축제어형 초정밀 스테이지 등을 갖춘 주요 핵심 H/W 유니트들로써 구성된다.

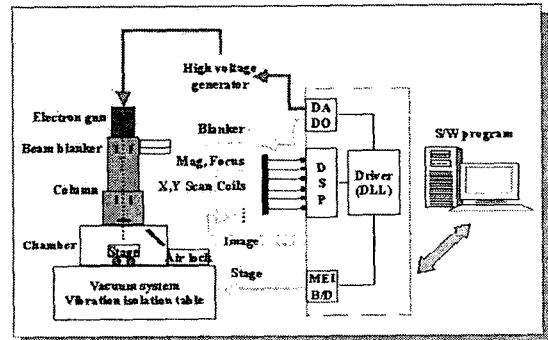


Fig.3 Schematic diagram of electron beam machining system using SEM

3. 전자빔건 헤드유닛과 경통(Column)의 역할

경통은 Fig.4에 나타낸 바와 같이 고전압 발생장치로부터 생성된 가속전압에 의하여 전자빔을 형성하고 조절하는 부위으로써 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 정렬

된 후, 빔 컨덴싱용 전자코일렌즈와 빔 어브젝트용 전자코일렌즈에서 적정하게 축소되고 전달되며 빔 스캔용 전자코일렌즈에 의하여 전자빔이 주사되어진다.

빔 스캔용 전자코일렌즈는 빔 슈프트용 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 6종류의 전자코일렌즈가 조립, 구성되어 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 슈프트용 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.

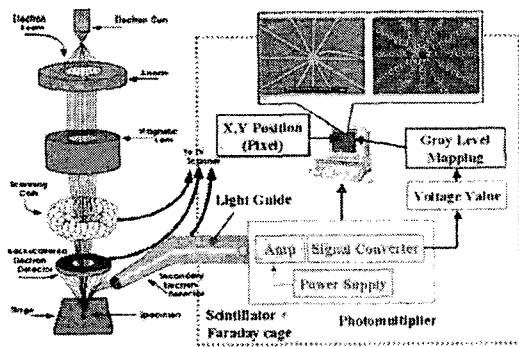


Fig.4 Principle of electron beam machining and secondary electron detecting

4. 전자빔건 헤드유니트의 설계 및 제작구성

전자빔건 헤드유니트에 전달된 최대 약 30kV의 고전압에 의하여 필라멘트(Hair pin 형태의 텅스텐 와이어)가 최대 약 2,500℃까지 가열됨으로써 열이온화로 방출된 전자는 Wehnelt Cap의 음전하에 의하여 좁은 영역으로 집중되며, 음극(Cathode)과 양극(Anode) 사이의 전기장의 영향으로 음극의 홀을 통해 가속화된다. 이 때 방출되는 전자선의 전류는 최대 약 50μA 정도이며, 직경은 약 30-100μm정도이다.

즉, 고전압에 의하여 필라멘트가 고온으로 가열되면서 전자들이 생성되어 양극으로 가속화되면서 바이어스 저항에 의하여 최대 500V 정도의 저전압으로 형성된 Wehnelt Cap에서 수직방향으로 전자들을 방출하게 된다. 그리고 필라멘트와 Wehnelt Cap 사이의 공간으로 전자들이 집속되는 한편, 최대 약 1mm 이하의 직경을 지나는 Wehnelt Cap의 홀을 통하여 전자들이 보내져 경통의 양극으로 방출된다.

Fig.5에는 경통의 상단에 위치하도록 설계한 전자빔건 헤드유니트의 구성도면과 최종적으로 제작하여 조립, 구성된 사진을 비교하여 나타내었다.

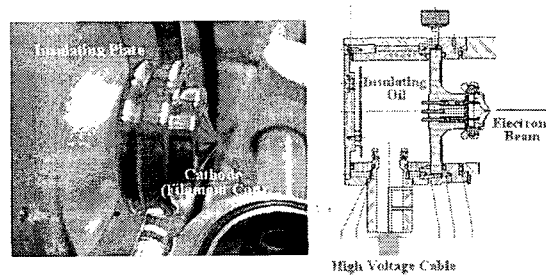


Fig.5 Designed & manufactured electron beam gun head unit

이와 같이 전자빔가공시스템의 전자빔건 헤드유니트는 경통부의 상단에 위치하여 고전압을 다루게 되므로 세라믹 절연판과 구조물의 공간에는 내고압용 절연오일이 채워지는 한편, 바이어스저항(Bias Resistor)을 거치며 필라멘트가 가열되어져 임의의 전자 방출량에 도달할 수 있는 온도가 형성되는 전류가 유연성있게 흐르도록 하는 역할을 주로 수행하게 된다.

Fig.6에는 고전압과 고진공상태와 같은 가혹한 분위기에서 열적강도를 발휘하는 한편, 절연오일의 누수현상을 차단하기 위하여 선정된 순도 99.7%의 고치밀도형 알루미늄 세라믹스를 이용하여 설계 제작한 절연판의 도면과 가공제작 공정을 나타내었다.

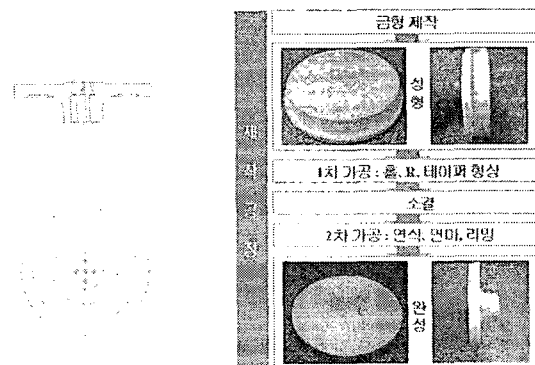


Fig.6 Designed & manufactured ceramic isolation plate

금형을 이용하여 혼합, 조성한 알루미나 세라믹스를 성형한 후, 1차적으로 다이아몬드 전착형 공구를 이용하여 직경 1.2, 2.0mm의 홀과 그루브 및 측면의 테이퍼형상을 가공하였다.

그리고 완전소결 공정을 거친 대상물에 대하여 다이아몬드 연삭휠과 다이아몬드 전착형 리머를 이용하여 요구되는 진원도, 내외경 등의 치수 및 형상 정도와 고품위의 가공면을 달성하도록 최종 다듬질 가공을 수행하였다.

이 때 크랙 및 파괴 등의 가공결함이 발생되었는지의 여부를 파악하기 위하여 비파괴 방식을 이용한 측정도 아울러 수행하였다.

Fig.7에는 정밀하게 제작된 세라믹 절연판과 다양한 구성요소부품들로 이뤄진 전자빔건 헤드유니트를 순차적으로 조립하는 한편, 핀을 이용하여 고전압케이블을 연결하고 절연액을 주입하여 완성하는 단계를 상하면에서 사진촬영하여 나타내었다.

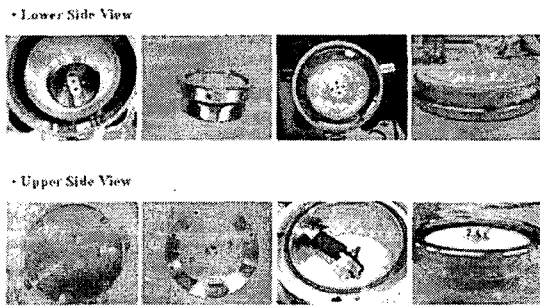


Fig.7 Assembly step of electron beam gun head unit

Fig.8에는 각 구성요소부품들과 구조물을 설계 및 가공제작한 후 조립구성한 전자빔건 헤드유니트를 주사식 전자현미경에 장착한 상태를 사진으로 나타내었다.

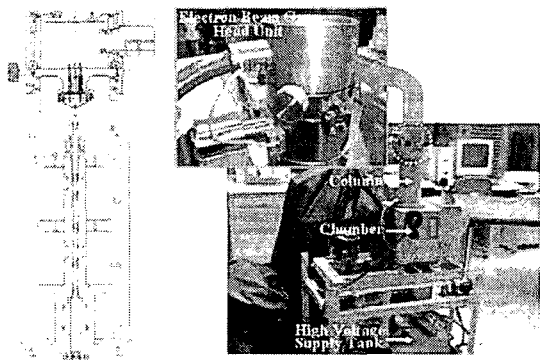


Fig.8 Designed & manufactured electron beam gun head unit

5. 결론

본 연구에서는 최종적으로 주사식 전자현미경을 기본 구조로 한 보급형 전자빔 가공시스템을 개발하는 목표를 달성하고자 핵심부위라고 할 수 있는 전자빔건 헤드유니트를 설계, 제작 및 조립하여 구성하는 내용을 중점적으로 다루어 수행하였다.

향후에는 이와 같이 구축된 전자빔건 헤드유니트를 주사식 전자현미경에 직접 장착하여 성능평가 실험을 수행한 후, 보완 개선을 통하여 최종적인 최적 모델링화를 구현할 예정이다.