

폴리이미드형 8인치 정전기척의 제조

조남인* · 박순규** · 실용태***

Fabrication of 8 inch Polyimide-type Electrostatic Chuck

Nam-Ihn Cho*, Soon Kyu Park**, and Yongtae Sul***

ABSTRACT

A polyimide-type electrostatic chuck (ESC) was fabricated for the application of holding 8-inch silicon wafers in the oxide etching equipment. For the fabrication of the unipolar ESC, core technologies such as coating of polyimide films and anodizing treatment of aluminum surface were developed. The polyimide films were prepared on top of thin coated copper substrates for the good electrical contacts, and the helium gas cooling technique was used for the temperature uniformity of the silicon wafers. The ESC was essentially working with an unipolar operation, which was easier to fabricate and operate compared to a bipolar operation. The chucking force of the ESC has been measured to be about 580 gf when the applied voltage was 1.5 kV, which was considered to be enough force to hold wafers during the dry etching processing. The employment of the ESC in etcher system could make 8% enhancement of the wafer processing yield.

Key words : Polyimide, Electrostatic Chuck (ESC), Dry etcher, Semiconductor processing, Chucking force, Silicon wafer, Unipolar-type ESC

1. 서 론

식각 공정은 반도체 칩 제조공정 중 필수적인 공정이며 플라즈마 식각 공정을 위한 Etcher 장치에서 요구되는 중요기술로는 고밀도 플라즈마 원기술, 가스 공급 및 제어기술, 웨이퍼 반송제어기술, 정전기 척 기술을 들 수 있다. 웨이퍼가 위치하는 substrate holder는 종래에는 기계적인 clamping 방식에 의하여 웨이퍼를 고정하였으나 웨이퍼 온도 불균일성, 파티클 생성, 웨이퍼 휨 발생, 웨이퍼 가장자리 사용불가 등이 방식이 갖는 문제의 한계성을 개선하고 칩 웨이퍼의 생산수율 향상을 위해 정전기를 이용한 웨이퍼 고정 방식이 연구 개발되었다[1-5].

반도체 제조장치에 있어서 silicon wafer의 고정, 휨의 고정 등의 반송 수단으로써 정전기 척 ESC; Electrostatic Chuck)의 사용이 몇 년 전부터 채용되기 시작하였다. 그 이전에 사용된 clamp 방식은 진공에서의

상기의 단점 외에도 wafer와 plate 사이에 불균일한 접촉으로 beam flux density 균일도에 영향이 미쳐 wafer 수급 면에서 수율이 많이 떨어지는 경향이 있었으나 정전기 척의 사용으로 인하여 wafer 온도균일성, 균일한 beam flux density, shadow effect도 없어지고, 특히 적은 particle로 인한 defect density가 감소될 뿐 아니라 edge exclusion 영역도 많이 사용하게 되어 wafer 사용 수율이 향상된다[1,2]. 그러나 단순한 웨이퍼 고정 개선만으로는 대면적 웨이퍼의 칩 성능을 보장하는데 난관에 부딪치게 되었으며, 대면적 웨이퍼를 균일하게 밀착해서 균일성이 취해지는 처킹(chucking)의 요구가 한 층 더 강해지고 있다. 그 중에서도 건식 공정에서는 습식 처리와 달리 진공 하에서 균일 가열이나 균일 냉각이 필수이며 압력차가 없는 진공 하에서 균일성을 확보하기 위해서는 정전력을 이용하여 기판을 전면 흡착할 수 있는 정전기 척이 필요하게 되었다[3]. 최근에는 새로운 형태의 플라즈마의 밀도를 높인 식각 장치가 요구되고 있는 점을 감안할 때, 건식식각 장비용 정전기 척은 고밀도 플라즈마에 견딜 수 있는 물질로 이루어져야 하며, 공정 중 파티클의 발생을 억제하도록 하여야 한다[4,5]. 이에 부응하는 물질로는 poly-

*선문대학교 전자정보통신공학부

**피브이트로닉스

***호서대학교 전기공학부

Etcher 장비 회로도

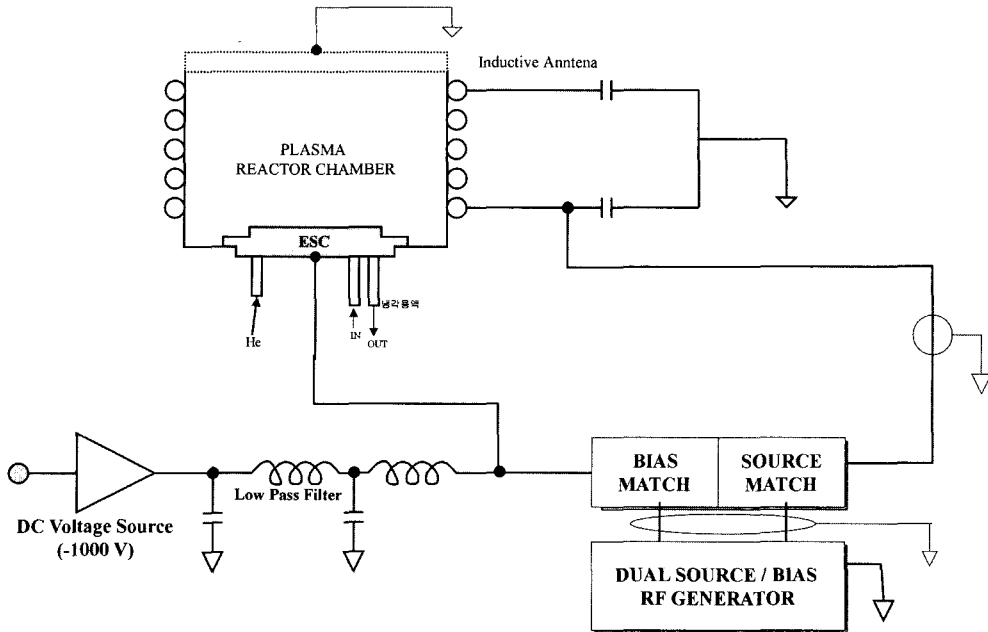


Fig. 1. Circuit diagram of dry etcher system.

imide, ceramic, Al-anodizing을 이용한 정전기 척이 있다. 정전기 척이 사용되는 반도체 장비에는 sputter, chemical vapor deposition(CVD), etcher, asher 등에서 채용되고 있으며, Fig. 1에서는 건식 식각 장비에서 정전기척의 위치와 원리를 볼 수 있다. 건식 식각 공정에서 ESC는 wafer 1장 씩 올려놓을 수 있으며, wafer와 ESC 사이에는 헬륨(He) 가스가 서서히 흐르는데 이는 wafer의 온도를 균일하게 유지하기 위해 필요하다.

현재 사용자들의 요구에 의한 반도체 추세는 고집적화, 대량생산 및 저렴한 가격을 요구하고 있다. 즉 이러한 흐름은 64M에서 256M, 1Giga DRAM 흐름은 곧 critical dimension shift가 필수적이고, etching selectivity가 약 40 이상이 되어야 하고, 불순물(contamination) 발생은 $0.2 \mu\text{m}$ 이하 입자가 1cm^2 면적에서 0.05개 정도 되어야 하고 RIE lag현상이 없어야 되며, 식각 균일도(etching uniformity)가 8인치 wafer 내에서 $\pm 5\%$ 이하의 사양을 가져야 된다. 따라서 이러한 요구를 만족하고 반도체 생산에 큰 수율을 가져올 수 있도록 할 수 있는 것은 반도체 장비 성능에 좌우된다. 그 장비의 성능에 가장 영향이 미치는 핵심부분은 곧 정전기 척이다. 따라서 성능 좋은 정전기 척을 개발하는 것은 성능 좋은 장비를 개발한다고 볼 수 있다. 본

연구에서는 8인치 wafer의 산화막 식각 공정에 이용될 수 있는 정전기 척을 제작하고 성능을 분석함으로써 관련 핵심기술과 노하우를 습득하고자 한다.

2. 제작과정

2.1 정전기척의 제작과정

정전기 척을 조립하기 위한 과정은 Fig. 2와 같다. 정전기 척을 만들기 위한 원재료물질은 본체인 알미늄과 전극을 형성하기 위한 구리박막, 그리고 플라즈마에 노출되는 폴리이미드가 있다. 여기에서 알미늄 물질은 6061Y6를 수입하여 사용하였으며, 구리박막과 폴리이미드는 박막형태로 수입하여 접합공정을 거쳐 가공된 본체에 부착하였다. 특히 폴리이미드는 건식식각 공정 중에 공정에 바로 노출되는 만큼 플라스틱이나 화학반응 물질에 대한 내구성이 중요하다. 알미늄 본체는 설계도면에 따라 기계가공을 하며, 표면은 양극산화 과정을 거쳐 절연물질로 만들어 사용하게 된다. 조립공정을 마친 정전기 척은 세척공정을 거쳐 제품이 완성된다. 제품은 성능시험장치로써 척킹력과 온도균일도 등의 주요특성을 측정하게 된다. Fig. 3은 제품 조립 공정 중, 세척공정과 폴리이미드 필름 접착공정이 진행 중인 작업 모습을 보여주고 있다.

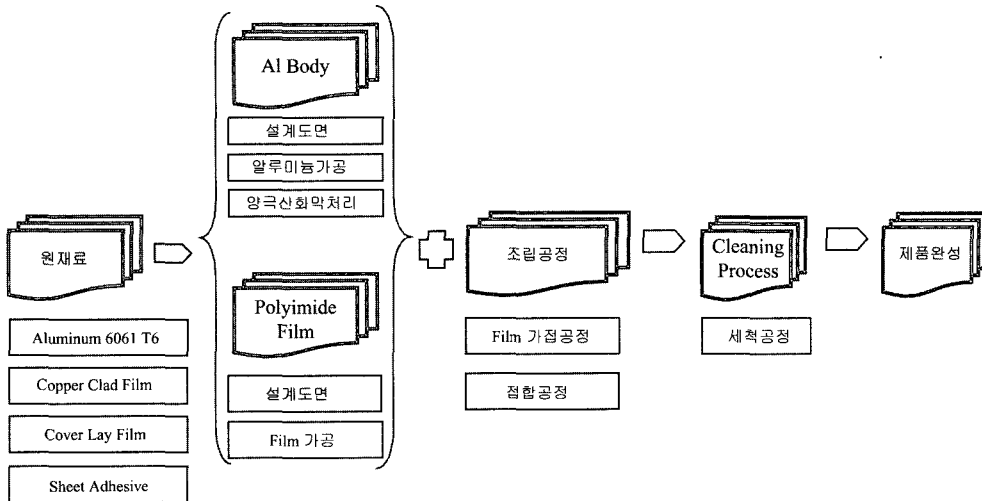


Fig. 2. Fabrication flow of polyimide-type electrostatic chuck.

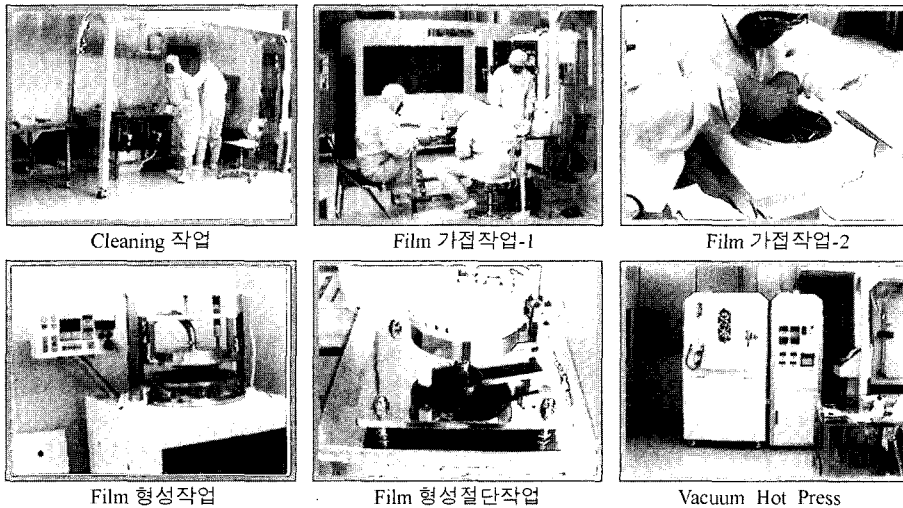


Fig. 3. Photos of some of the assembly process steps.

3. 성능특징 결과

정전기 척 제작에 앞서 우선적으로 생각해야 될 것은 척의 외형적인 형태와 전기적인 사양에 있다. 외형적인 형태로는 적용될 etcher 장비 즉 척 주변의 모양을 철저히 분석해야 되고, 또한 전기적인 조건의 사양에 따라서 웨이퍼 척킹력이 달라지므로 매우 중요한 인자이다. 따라서 이 모든 부분을 고려하여 정전기 척의 설계가 이루어져야 되고, 세밀한 검토와 수정작업을 거쳐 제작도면이 완성하게 된다. 제작과정 중에 가장 중요하게 대두되는 핵심기술은 알루미늄 가공기술, 알루미늄 양극

피막기술, polyimide 가공기술, 알루미늄과 pattern이 형성된 polyimide 접합기술 그리고 무엇보다도 중요하게 생각되는 기술은 정전기 척의 측정기술이다. 따라서 polyimide 재료를 사용한 정전기 척을 제작하고, 정전기 척 테스터를 제작하여 그 특성을 밝히는데 이 측정장비를 이용하여 단일극, 쌍극 형태로 된 정전기 척에 대해 chucking force 및 de-chucking force 측정이 가능하다.

3.1 폴리이미드 필름의 제작

폴리이미드 정전기 척의 핵심기술 중 폴리이미드 필름과 전극인 구리 박막의 접합기술을 개발하였다. 이의

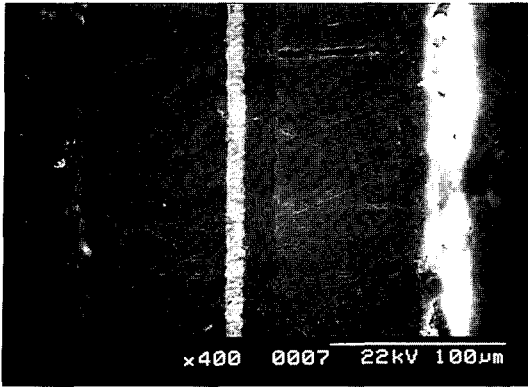


Fig. 4. SEM cross-sectional view of polyimide and copper films.

접합 방법 중 하나는 특정 접합액을 사용하는 방법이며, 이 방법에 따라 제작된 정전기 척의 SEM 사진은 Fig. 4와 같다. 그림에서는 접합된 구리전극 박막과 폴리이미드 박막이 접합되어 있는 단면이 400배의 배율로 관찰되었다. SEM 전자현미경을 통하여 중간 접합액과 양면의 구리 및 폴리이미드 박막이 균일하게 접합되어 있는 형태를 볼 수 있다. 한편, polyimide 위에 구리박막을 증착시키는 CVD-Cu 장치를 설치하였으며 이 장치를 이용하여 구리 박막도 제작하였다. 이 장치는 반응용기, 배기 시스템, 가스주입 시스템으로 구성되어 있는데[6], 그 중 가스주입 시스템은 화학적 증착에 필요한 반응기체의 유량을 적절히 조절하여 반응용기까지 전달한다. 실험에 사용되는 유기 금속 전구체 원료(MO precursor)는 구리박막 증착공정 중에 50°C로 가열되어 증기압을 높여서 반응용기로 전달된다. 이

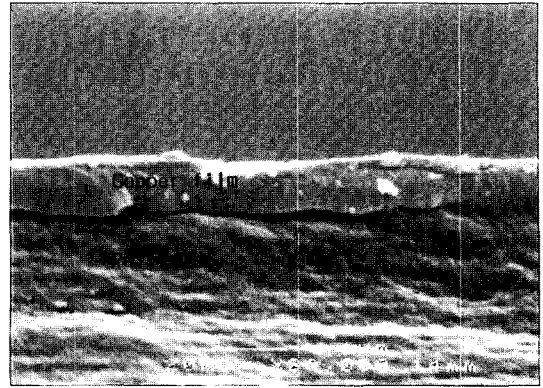


Fig. 5. SEM cross-section of copper films on polyimide.

는 액체상태의 물질로서 끓는점이 50°C로 낮기 때문에 200°C 내외의 저온 증착이 가능하고, 불균등화 화학반응에 의해 증착이 일어난다. 반응용기는 반응 기체들이 화학반응을 일으켜 기판 위에 화학 증착물이 증착되는 부분으로 반응기체들이 화학적 반응에 의해 모재 위에 증착되도록 하는 중요한 부분으로 스텐리스 스틸의 외벽으로 되어 있으며, 내부에는 carrier 가스가 분무되는 showerhead와 모재와의 거리는 30 mm를 유지하였다. 전구체는 액체와 증기압이 혼합된 방식으로 반응 용기 안에 주입되도록 함으로써 매우 높은 구리 증착 속도를 얻을 수 있었으며, 정전기척에 이용할 수 있는 성능을 얻었다. Fig. 5는 polyimide 기판 위에 형성된 구리 박막의 SEM 단면사진이다.

3.2 정전기 척의 성능

제작된 정전기 척에 대한 성능 테스트를 자체 제작

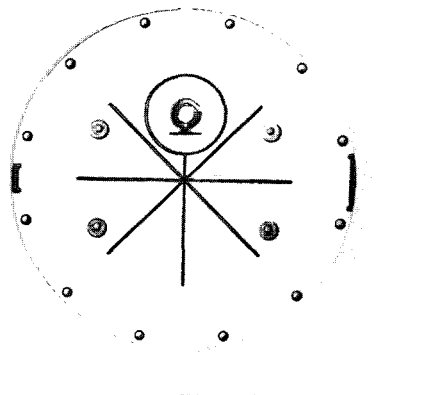
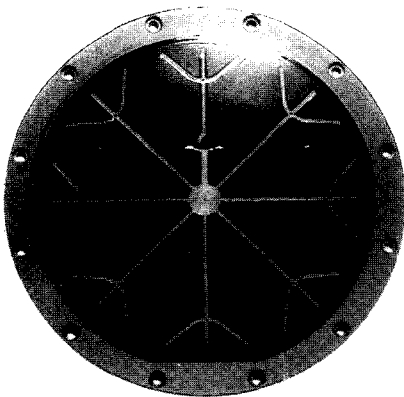


Fig 6. Polyimide ESC for oxide etching (front, back).

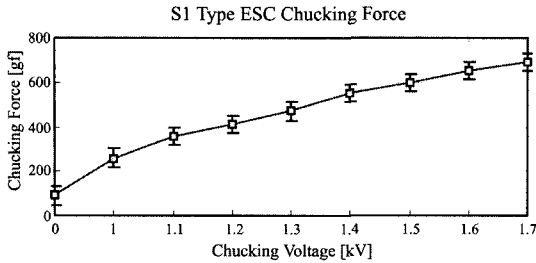


Fig. 7. Chucking force vs. applied voltage for polyimide ESC.

한 장치에 의하여 측정하였다. 척이 장착된 챔버를 진공 하에서 He 압력을 증가시키면서 척 뒷면의 압력과 챔버 간의 압력을 측정하였다. 이 때 He 16 sccm 이상을 집어 넣었을 경우, 압력 상승으로 인하여 웨이퍼가 떨어짐을 확인할 수 있었다. Fig. 6는 oxide etching에 사용하는 정전기 척 제품에 대한 사진이고, Fig. 7는 이 제품의 척킹력의 측정 결과이다. Fig. 6에서 폴리이미드 표면이 일정한 패턴에 따라 제작되었는데, 표면 패턴은 냉매 역할을 하는 He 가스의 통로가 되며, 이는 온도균일도가 유지되도록 한다. 정전기 척의 뒷면은 전극과 He 가스의 진입구로 이루어져 있다. 실리콘 wafer의 척킹력은 인가된 전압에 비례하여 증가함을 볼 수 있다. 척킹력은 1.0 kV일 때 250 gf이며, 1.5 kV일 때는 600 gf로 크게 증가함을 알 수 있다. 이는 건식식각 공정에 사용되기에 충분한 성능이다.

4. 결 론

폴리이미드 형 정전기 척의 제조에 소요되는 핵심기술을 개발하였고, 폴리이미드 기판 위에 구리박막을 안정적으로 형성시키는 기술도 신뢰도 향상의 측면에서 동시에 개발하였다. 이들 기술을 이용하여 8인치 실리콘 웨이퍼 상의 산화막 식각에 사용될 수 있는 정전기 척을 제작하였다. 제작된 정전기 척에 대하여 chucking력과 de-chucking력을 제작된 시험장치를 이용하여 측정하였다. 정전기 척 시험장치는 정상적인 동작을 보였으며, 1.0 kV의 인가전압에서 250 gf의 chucking력을 나타내었다. 정전기 척의 제작 과정에서 두드러지게 나타나고 있는 현상은 알루미늄 표면 가공 조도 및 양극 산화막에 대한 크랙, 양극산화 처리된 알루미늄과 폴리이미드와의 접합상태 등이 건식식각 공정에서 사용하기에 충분한 성질을 나타내었다. 폴리이미드 기판 위

에 구리박막 형성 기술 연구에서는 sputter 등 PVD 방식을 배제하고 단순히 CVD 기술로만 구리 박막을 형성하는 방안을 제시하였다. 초기에 구리박막을 250°C 이하에서 형성하는 기술은 알려져 있지 않으나, 본 실험을 통하여 이를 구현하였다. 모재로는 듀폰사의 Kapton을 구매하여 사용하였다. 폴리이미드 상에 구리박막의 증착 시 전구체 상태를 증기와 액체의 혼합 형태로 사용함으로써 매우 큰 증착 속도를 얻을 수 있었다. 이것은 bubbler 안의 전구체 용기와 반응 챔버를 연결하는 파이프의 위치를 미세하게 조정함으로써 가능하였다. 즉, 타이프의 바깥 쪽 끝을 전구체 용액 표면에 위치시키고 bubbling 하면 일부 액체도 함께 반응 챔버로 유입되는 현상을 일으킨다. 이 방법에 의해 성공적으로 구리 박막의 증착이 이루어 졌으며 그 두께는 2분 간 증착 시 약 500 nm로써 매우 큰 증착 속도를 얻을 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단 지정 호서대학교 반도체제조장비국산화연구센터의 지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. M.B. Kubly, N. Benjamin, and S.D. Germain, "Methods and Apparatuses for clamping and declamping a semiconductor wafer in a wafer processing system", U.S. Patent WO98/00861 (Jan. 1998).
2. L.D. Hartsough, "Electrostatic wafer holding", Solid State Technology, 34(4), pp. 87-90 (1993).
3. J. Field, "Electrostatic wafer clamping for next generation manufacturing", Solid State Technology, 34(6), pp. 91-98 (1994).
4. J.F. Daviet and L. Peccoud, "Electro-static clamping applied to semiconductor plasma processing", J. Electrochem. Soc., 140(11), pp. 3245-3255 (1993).
5. K.A. Olson, D.E. Kotecki, and A.J. Ricci, "Characterization, modeling, and design of an electrostatic chuck with improved wafer temperature uniformity", Rev. Sci. Instrum., 66(2), pp. 1108-1114 (1995).
6. N. Cho and Y. Sul, "Preparation of copper thin films on various substrates", Materials Science and Engineering, 72B, pp. 184-189 (2000).