

Oxide Etcher 용 E-Chuck의 기술개발

조남인* · 남형진* · 박순규**

Development of E-Chuck for Oxide Etcher

Nam-Ihn Cho*, Hyoung Gin Nam*, and Soon Kyu Park**

요 약 Oxide etcher 장비에서 실리콘 웨이퍼를 잡고 공정을 수행할 수 있는 단극 (unipolar) 형태의 E-chuck을 제작하였다. 단극 형태의 E-chuck을 개발하기 위하여 핵심기술인 폴리이미드 박막의 코팅기술과 알루미늄 표면의 양극처리기술을 개발하였다. E-chuck은 폴리이미드 재료를 표면 물질로 사용하여 플라즈마에 의한 표면 손상을 최소화하였다. Oxide etcher 장비에 사용되는 핵심 부품인 E-chuck 의 제조 과정을 살펴보고 히터 내장형 E-chuck을 위한 박막형 전열체 기술을 개발하였다.

Abstract A unipolar-type E-chuck was fabricated for the application of holding silicon wafers in the oxide etcher. 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 thin coated copper substrates to minimize the plasma damage during the etch processing. Thin film heater technology was also developed for new type of E-chuck.

Key Words : E- Chuck , Oxide etcher, Semiconductor processing, Unipolar-type E- Chuck

1. 배 경

건식식각 장치의 일종인 산화막 식각 장치(Oxide etcher)는 반도체 집적회로를 제조하는데 필수적인 장비이며, 이 장비의 구성 부품을 이루는 주요 신기술로는 고밀도 플라즈마 원 기술, 가스 공급 및 제어기술, 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 에취 사용 불가 등이 clamping 방식이 갖는 문제의 한계성을 개선하고 칩 웨이퍼의 생산 수율 향상을 위해 전기적인 힘을 이용한 웨이퍼 고정 방식이 새로이 개발되었으며 이를 E-chuck(Electrostatic Chuck)이라고 한다[1]. 웨이퍼를 위치시키고 고정시키는 기능을 가진 E-chuck은 단순한 웨이퍼 고정의 개선만으로는 대면적 웨이퍼의 칩 성능을 보장하는데 난관에 부딪치게 되었으며, 대면적 웨이퍼를 균일하게 밀착해서 균일성이 취해지는 처킹 집착력(chucking force)의 요구가 한층 더 강해지고 있다. 그 중에서도 건식 공정에서는 습식 처리와 달리 진공 하에서 균일 가열이나 균일 냉각이 필수이며 압력차가

없는 진공 하에서 균일성을 확보하기 위해서는 정전기적인 힘을 이용하여 기판을 전면 흡착할 수 있는 E-chuck이 필요하게 되었다. 최근에는 플라즈마의 밀도를 높인 새로운 형태의 식각 장치가 요구되고 있는 점을 감안할 때, Oxide Etcher 장비용 E-chuck은 고밀도 플라즈마에 견딜 수 있는 물질로 이루어져야 하며, 공정 중 파티클의 발생을 억제하도록 하여야 한다[2]. 이에 부응하는 물질로는 polyimide, ceramic, Al-anodizing을 이용한 정전기 척이 연구 개발되고 있다[3-5]. 그림 1은 일본의 장비업체인 TEL 회사에서 제작한 polyimide를 이용한 Etcher용 E-chuck의 앞면 실제 모습이다. 이 제품은 8인치 실리콘웨이퍼를 이용한 반도체 공정용으로 제작, 시판되고 있다. 본 논문에서는 Oxide Etcher 장비에 사용되는 중요 부품인 E-chuck 의 국산화를 위한 제조 과정을 살펴보았다. 또한 장차 새로운 기능이 요구되는 반도체 장비 추이를 감안하여 히터 내장형 E-chuck을 위한 박막형 전열체의 핵심 기술도 알아보았다. E-chuck의 제조를 위해서는 표면 물질인 polyimide 와 전극 물질인 구리박막의 접합기술, 서로 다른 물성을 가진 알루미늄 재료 간의 용접기술, 집착력 성능을 측정하는 분석기술 등이 포함된다.

*선문대학교 전자정보통신공학부

** (주) 피브이트로닉스

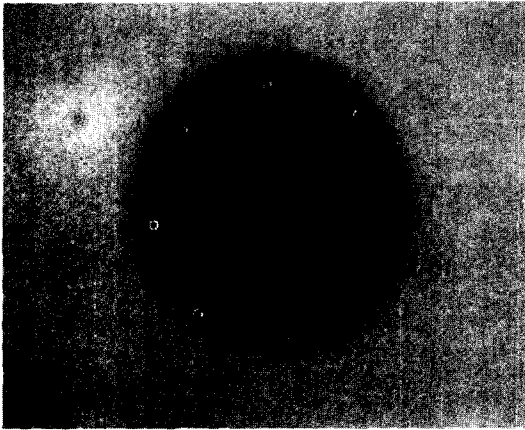


그림 1. TEL Etcher 장비에 사용하는 E-chuck의 실물 사진

2. E-chuck 제작을 위한 기술 개발

Oxide Etcher 장비용 E-chuck의 제조를 위한 핵심 기술을 개발하였으며, 이러한 핵심기술을 사용하여 시제품을 제작하였다. Etcher 장비용 E-chuck을 제작함에 있어 고밀도 플라즈마에 견딜 수 있는 물질로 이루어져야 하며, 공정 중 파티클의 발생을 억제하여야 한다는 점을 감안할 때 표면의 절연물질의 선택이 무엇보다 중요하다. 현재까지 선진 각국에서 개발한 E-chuck에 사용되는 절연물질을 표 1에 요약하였다. 표 1에는 절연물질의 유전상수(dielectric constant), 열전도도(thermal conductivity), 최대 항복전압(breakdown voltage), 열팽창 계수(TCE; thermal coefficient of expansion), 최대 사용온도(maximum operating temperature)의 특성이 정리되어 있다. 이 표에 사용된 절연물질은 세라믹 계열이며, 보다 사용이 간편한 방법은 알루미늄 재료를 양극산화(Al-anodizing) 시켜 알루미늄산화물(Al_2O_3)을 생성시키는 방법이 있으며, 기존의 고분자 물질 중 고온 특성이 우수한 절연체를 사용하는 방법도 널리 알려진 기술이다. 고분자 물질 중 polyimide는 시중에서 손쉽게 구매할 수 있으며 최대 400°C까지 견디는 고온 물질이

어서 이번 실험에서는 polyimide를 사용하여 E-chuck을 제작하였다. 선택된 표면 물질인 polyimide와 전극 물질인 구리박막의 접합기술, 서로 다른 물성을 가진 알루미늄 재료 간의 용접기술, 접착력 성능을 측정하는 분석기술 등이 E-chuck 제작을 위한 핵심기술이므로 이에 대한 실험을 수행하였다.

2.1. Polyimide 위의 구리 박막 형성 기술

유기금속 CVD 기술을 이용하여 구리박막의 제작을 시도하였다. 실험 결과, 제작된 구리 박막의 전기적 성질은 모재의 재료와 모재의 온도에 따라 크게 변화함을 알 수 있었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 구리 박막의 비저항은 증착 시 공정 온도에 따라 감소하는 경향을 보여주고 있다. 사용된 polyimide는 최대 400°C 까지 안정된 물질로 알려져 있으므로 300°C 까지 모재의 온도를 변화시키며 증착을 시도하였으나 구리 증착 결과는 매우 얇은 박막을 얻는데 그쳤다. 폴리이미드 위에 증기 상태의 전구체를 이용한 구리 박막의 증착 결과는

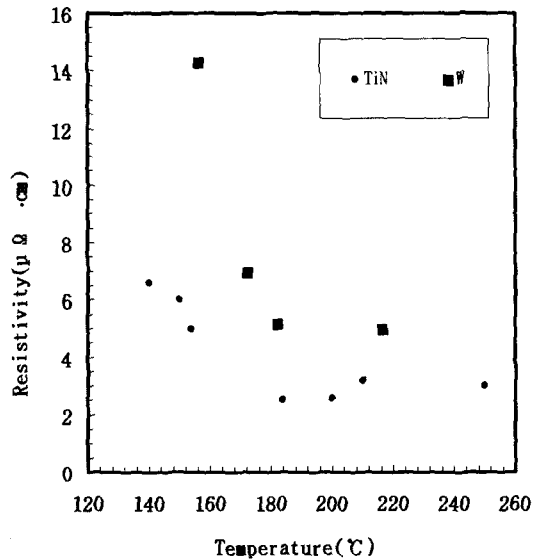


그림 2. 구리박막 증착 시 온도에 따른 박막 비저항 변화

표 1. E-chuck에 사용되는 절연물질

성질	Al_2O_3	SiO_2	Si_3N_4	TiO_2	PZT	$BaTiO_3$
Dielectric Constant, ϵ	9.8~10.8	3.8~4.8	4.5~7.0	14~10,000	120~1300	14~100
Thermal Conductivity($watt\ m^{-1}C^{-1}$)	10.4	0.0033	25	3.77		
Breakdown Voltage, V_b (volts/ μm)	9	15	59	2~24	>55	228~315
TCE($10^{-6}C^{-1}$)	9	5.5	1.5~3.6			
Maximum Use Temp.(°C)	1,700	200	1,300			120

단지 섬과 같은 작은 구리 박막이며 균일한 증착 상태는 얻을 수 없었다. 따라서 모재의 종류를 변화시키며 실험을 실시하였다. TiN과 W는 반도체에서 많이 사용되는 재료이므로[6], 이를 이용하였다. 약 100 nm/min의 높은 증착 속도를 나타내는 실험 결과는 양산성 측면에서 만족스러운 결과라고 사료된다.

2.2. 박막형 전열체 제작기술

박막형 전열체는 히터 내장형 E-chuck에 필수적인 기술이며 박막의 모양과 온도 균일도가 요구된다[7]. 전열체로 가능한 물질인 실리사이드 물질(silicide; mixed material with metal and silicon), 녹는 점이 높은 금속인 몰리부데늄(Mo)과 텅스텐(W) 물질, 그리고 세라믹 기판 위에 금속합금(Ni₄Cr) 물질을 사용하였다.

(1) Silicide 시편

Silicide 시편의 경우 2가지 구조로 제작되었다. 즉, 금속을 증착한 단순한 구조와 다층 박막에 의해 silicide 형성을 더욱 용이하도록 한 구조이다. 후자의 경우 기판과 박막사이에 절연 층을 증착하여 앞으로 실제 히터 제조 시 E-chuck과 같은 웨이퍼를 고정시키기 위한 기술 연구를 고려한 구조를 형성하였는데 절연막으로 Si₃N₄를 사용한 구조와 SiO₂를 사용한 구조의 샘플을 제작하였다. 4-point probe에 의한 저항 측정 결과는 열처리 후 박막의 면저항 값이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 박막의 열처리 전후의 저항 값은 보고 되어있는 Mo의 비저항치인 5.3μΩ·cm와 Mo-silicide의 비저항 값 18μΩ·cm와는 큰 차이를 보여 주었다. 이러한 차이는 막질의 차이와 완전한 silicide 형성을 이루지 못했기 때문으로 판단된다.

(2) 금속 박막 시편

금속박막 시편의 경우는 크게 2 가지 구조로 제작하였다. 이 때 기판 상에는 금속과 Si 기판간의 반응을 저지하기 위하여 silicon nitride를 증착하였다. 2 가지 구조는 우선 Mo 금속을 단순히 증착한 구조(구조 1)와 금속 위에 금속의 산화를 방지하기 위한 절연 막으로 silicon nitride를 증착한 구조 등이다. 후자의 경우 금속 막으로 Mo를 사용한 경우(구조 2)와 W를 사용한 구조(구조 3) 등의 샘플을 제작하였다. 저항측정 결과, 표 2에 나타난 것과 같이 Mo가 증착된 경우 면저항 값이 상부에 nitride 막이 있는 경우와 없는 경우에 커다란 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. W의 경우에도 일반적인 저항 값보다 커다란 값을 나타내고 있다. 저항치를 통하여 판단한다면 Mo 박막의 상단에 순수한 금속박막이 아닌 새로운 상이 형성되어 있을 가능성을 배

표 2. 면 전열체의 면 저항 측정 결과

	<구조 1>	<구조 2>	<구조 3>
4-point probe	4.2 Ω/cm	39.2 Ω/cm	94.9 Ω/cm

제할 수 없으나 이러한 이유보다는 박막화에 따른 결과로 추정된다.

(3) 세라믹 기판을 사용한 시편

앞에서 서술한 경우 가장 큰 문제점으로는 기판 위에 증착된 절연막이 열팽창에 의하여 기판과 전열 박막이 수 차례의 열적 충격 이후에 분리되는 현상(peeling 현상)이다. 따라서 본 연구에서는 절연막의 필요성을 제거하기 위한 수단으로 기판 자체를 절연체로 하여 히터 구조를 제작하였다. 한편, 발열체로 사용한 금속들이 온도의 상승에 따라 산화가 됨을 관찰할 수 있었기에 본 실험에서는 산화가 잘 일어나지 않는 도체를 사용하였다. 이러한 이유로 Al₂O₃ 기판 상에 Ni₄Cr을 증착하여 그 특성을 분석하고자 하였다. 4 point probe에 의한 면 저항 측정 결과 약 350Ω·cm의 큰 값을 얻었다. 이러한 저항 값에서 예측할 수 있듯이 히터의 발열 효율을 측정할 결과 30V에서도 약 100mA 정도의 작은 전류가 흘러서 현저한 온도 상승은 관찰할 수 없었다.

2.3. E-chuck 제작 및 특성 조사

E-chuck을 제조하였으며, 제작된 E-chuck에 대한 성능 테스트를 자체 제작한 장치에 의하여 측정하였다. 그림 3은 실험에서 제작된 E-chuck의 실물 사진을 보여 주고 있다. E-chuck 제작에서 우선적으로 생각해야 될 것은 E-chuck의 외형적인 형태와 전기적인 사양에 있다. 외형적인 형태로는 적용될 Oxide Etcher 장비 즉 E-chuck 주변의 모양을 철저히 분석해야 되고, 또한 전기적인 조건의 사양에 따라서 웨이퍼 척킹 부착력(chucking force 및 de-chucking force)이 달라지므로 매우 중요한 인자임에 틀림없다. 따라서 이 모든 부분을 고려하여 E-chuck의 설계가 이루어져야 되고, 면밀한 검토와 수정작업을 거쳐 제작도면이 완성하게 된다. E-chuck은 설계의 제작도면에 의해 순차적으로 제작이 이루어지는데, 이 제작과정 중에 중요하게 대두되는 핵심기술은 알루미늄 가공기술, 알루미늄 양극피막기술, polyimide 가공기술, 알루미늄과 pattern이 형성된 polyimide 접합기술이다. 아울러, 무엇보다도 중요하게 생각되는 기술은 E-chuck의 성능 측정기술이다. 따라서 E-chuck 테스터를 제작하였으며 테스터의 기능 구성도는 그림 4에 나타내었다. 이 측정 장비의 특징은 단일 극과 쌍극 형태로 된 정전기 척에 대해 chucking force

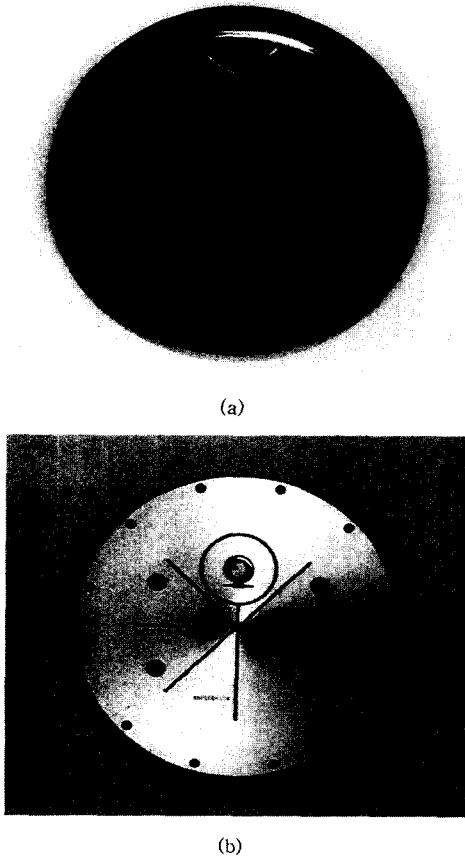


그림 3. 실험에서 제작한 E-chuck의 실물 사진
(a) 앞면, (b) 뒷면

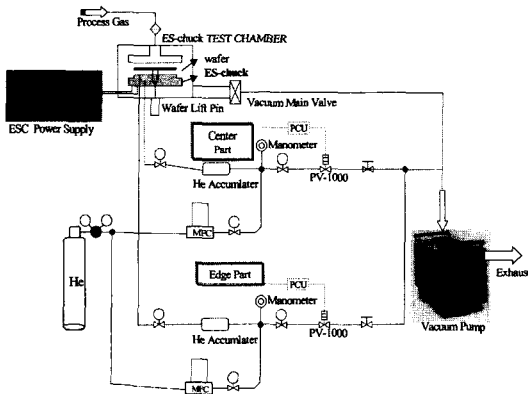


그림 4. 제작한 E-chuck의 테스트 장비 기능 구성

de-chucking force를 측정 가능하게 제작되었다.

E-chuck이 장착된 챔버를 진공 하에서 헬륨(He) 압력을 증가시키면서 척 뒷면의 압력과 챔버 간의 압력을

측정하였다. He 16 sccm 이상을 집어넣었을 경우, 압력 상승으로 인하여 웨이퍼가 떨어짐을 확인할 수 있었다. 또한 E-chuck의 가장 중요한 부분인 알미늄의 전자빔 용접에 성공하였으며, 일본의 TEL사의 용접과 대등한 정도의 양호한 표면상태를 얻을 수 있었다. 용접된 알미늄은 Al 6061과 Al 1050이며, 이 용접 부분에 미세한 크랙이라도 있으면 E-chuck 밑 부분에 냉매체가 흐르도록 되어 있어 공정 챔버에 심각한 영향을 주게 되므로 철저한 검사가 필요하다.

3. 결과 및 기대효과

산학 협동으로 Oxide Etcher용 E-chuck의 개발에 요구되는 핵심기술을 개발하였다. polyimide 기판 위에 구리박막 형성 기술, 정전기 척의 온도 균일화를 위한 박막형 전열기 기술, 정전기 척 제작 및 특성조사의 기술을 개발하여 시제품을 제작하였으며 장비의 구성과 일부 실험에서 새로운 결과를 얻을 수 있었다.

먼저, polyimide 기판 위에 구리 박막 형성 기술 연구에서는 듀폰 사의 Kapton을 구매하여 모재로 사용하였다. polyimide 상에 구리 박막의 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 이루어졌으며 그 두께는 2분간 증착 시 약 500 nm로써 매우 큰 증착 속도를 얻을 수 있었다. 그러나 단점은 증착 속도를 정밀하게 조정하기 어렵다는 것이다. 이 단점을 보완하는 방법이 제시되어야 할 것이다. 실험의 용이성을 위해 실리콘 웨이퍼 상에 사용하였고, TiN 층을 패턴한 후에 구리 박막을 제작하였다. 그 결과는 실리콘 기판과 TiN 모재에서 증착 속도에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 이의 증착 선택도는 10을 상회하는 큰 값이었다.

다음, E-chuck의 온도 균일화를 위한 박막형 전열기 기술에서는 Mo나 W 등의 전열체로서의 특성은 매우 좋으나 기판 및 대기 중의 산소와 반응을 일으키는 현상을 방지하기 위한 절연막이 온도 상승에 따라 peeling 되는 문제점이 있는 것으로 조사되었다. 한편, Ni₄Cr 등 산화에 저항성이 큰 물질의 경우 저항 값이 비교적 크기 때문에 전열 효과가 현저히 낮아지는 것을 관찰하였다. 이러한 연구 결과들을 종합하여 볼 때 가능성이 가장 높은 구조는 Al₂O₃ 등의 기판에 Mo 등의 비저항이 작은 도체를 증착한 다음 그 위에 산화 방지

막을 성장시킨 구조일 것으로 예측된다. 산화 방지막으로는 Al 계열의 산화막 또는 nitride를 사용한 실험이 가치가 있을 것으로 사료된다.

E-chuck의 제품화는 제작 공정에서 두드러지게 나타나고 있는 알루미늄 표면가공 조도 및 양극 산화막에 대한 크랙, 양극산화 처리된 알루미늄과 polyimide와의 접합상태에 대한 영향을 분석이 필요할 것이며, 차후 척킹 집착력을 향상시키고 수명을 연장시키는 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 제작된 E-chuck은 Oxide Etcher 장비의 핵심부품임은 물론 고가이며 소모성 성격을 가지고 있고 현재 전량 수입에 의존하고 있다. 제작된 E-chuck의 성능과 가격 경쟁력이 외국의 제품에 비해 우수할 경우 수입대체 효과는 매우 클 것이다. 이 실험을 통하여 얻어진 경험을 바탕으로 차후 연구 가능한 새로운 chuck으로는 CVD 및 Implant 용 chuck, 히터 내장용 chuck, Plasma chuck을 들 수 있으며 이 또한 수입대체 효과가 큰 제품이다.

감사의 글

본 논문은 선문대학교 산업기술연구소가 지원하는 산학연공동기술개발컨소시엄사업에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] J.S. Lim, *Introduction to Semiconductor Manufacturing Equipment*, Sungandang, Seoul, 2000.
- [2] S. A. Campbell, *The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication*, 2nd Edition, Oxford University Press, New York and Oxford, 2001.
- [3] M. B. Kubly, N. Benjamin, and S.D. Germain, "Methods and Apparatuses for clamping and declamping a semiconductor wafer in a wafer processing" U.S. Patent WO98/00861, Jan. 1998.
- [4] J. Field, "Electrostatic wafer clamping for next generation manufacturing", *Solid State Technology*, Vol. 34, No. 6, pp. 91 - 98, 1994.
- [5] J.F. Daviet and L. Peccoud, "Electrostatic clamping applied to semiconductor plasma processing", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 140, No. 11, pp. 3245 - 3255, 1993.
- [6] N.I. Cho, H.G. Nam, Y. Choi, and J.S. Yang "Chemical vapor deposition of copper films" *Microelectronic Engineering*, Vol. 66, pp. 415-421, 2003.
- [7] 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.*, Vol. 66, No. 2, pp. 1108 - 1114, 1995.