

소다붕규산염유리 도포형 정전척의 제조

방재철

순천향대학교, 신소재화학공학부

Fabrication of Soda Borosilicate Glass-Coated Electrostatic Chucks

Jaecheol Bang

Division of Materials & Chemical Engineering, Soonchunhyang University

초 록: 본 연구를 통하여 저온 반도체 공정용 정전척(ESC)을 테이프캐스팅 공정에 의하여 스테인레스스틸에 소다붕규산염유리가 도포된 형태로 제작할 수 있음을 입증하였다. 스테인레스스틸 기판위의 유리 도포층은 125 μm 의 두께로 제작되었다. 유리 도포층의 접합력은 매우 우수하여 300°C 이상의 온도변화에서도 균열이나 층간갈라짐 현상이 발생하지 않았다. 정전 고착압력은 전반적으로 이론적 관계인 전압의 제곱에 비례하는 경향을 보였으나, 고온과 고인가전압에서는 이 관계에서 벗어나는 것으로 나타났다. 이러한 이탈현상은 고온과 고인가전압에서 전기비저항의 감소에 따른 누설전류의 증가에 기인한다.

Abstract: This study demonstrated the feasibility of tape casting method to fabricate soda borosilicate glass-coated stainless steel electrostatic chucks(ESC) for low temperature semiconductor processes. Glass coating on the stainless steel substrate was 125 μm thick. The adhesion of glass coating was found to be excellent such that it was able to withstand temperature cycling to over 300°C without cracking and delamination. The electrostatic clamping pressure generally followed the theoretical voltage-squared curve except at elevated temperatures and high applied voltages. The deviations at elevated temperatures and high applied voltages are due to increased leakage current as the electrical resistivity of glass coating drops.

Keywords: Electrostatic chuck(ESC), Soda borosilicate glass, Stainless steel, Tape casting, Clamping pressure

1. 서 론

척(chuck)은 에칭이나 박막증착과 같은 공정에서 반도체 웨이퍼의 고착(clamping)장치로 사용되는 것으로서, 기계척(mechanical chuck)이 주로 사용되었으나, 이 척의 문제점들을 배제할 수 있는 대체품인 정전척(electrostatic chuck, ESC)의 사용이 점차 보편화되고 있다.¹⁻⁶⁾

기계척은 반도체 웨이퍼의 둘레를 클램프(clamp)로 눌러서 고착시키고, 웨이퍼 후면에서 불활성 냉각가스를 주입하는 방식으로써, 웨이퍼와 클램프의 접촉에 의한 입자 오염과 웨이퍼를 고착시키는 힘이 국부적으로 작용하기 때문에 초래되는 웨이퍼의 휨 현상

이 큰 문제점으로 지적되어 왔다.

반면에 ESC는 정전기 힘에 의하여 웨이퍼를 고착시키는 장치로써, 기계척에서와 같이 입자오염의 원인이 될 수 있는 클램프가 없다. 웨이퍼와의 접촉면 전체에 걸친 고른 정전기 힘의 작용에 의해 웨이퍼를 고착시키므로, 웨이퍼 표면의 평활도가 보장되며, 웨이퍼가 ESC 표면 전체에 긴밀하게 접촉하여 효과적으로 웨이퍼의 열을 방출시키기 때문에 온도 조절이 용이하다.

다양한 디자인과 재료로 구성된 ESC가 개발되고 있으나, 크게 모노폴라(monopolar)와 바이폴라(bipolar) 두 형태로 분류된다.^{2,3)} 모노폴라형은 ESC의 절연층을 사이에 두고 ESC의 금속층이 하부전극이고

웨이퍼가 상부전극인 평판형 축전기 배열을 하고 있다. 이 모노폴라형은 구조가 단순하여 제조가 용이하고 웨이퍼 고착력(clamping pressure)이 큰 장점이 있으나, 회로완성을 위하여 웨이퍼 상부에 형성되는 플라즈마가 전도체로써 반드시 필요하기 때문에 웨이퍼가 손상될 수 있는 문제점이 있다. 바이폴라형은 플라즈마가 필요하지 않으나, 구조가 복잡하여 제조가 난이한 문제점이 있다.

본 연구에서는 금속전극 기판위에 절연층을 직접 부착하는 방법에 의하여 모노폴라형 ESC를 제조하고자 하였다. 절연층으로는 알루미늄이나 실리카가 많이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 금속기판 위에서 직접 소결이 가능한 소다붕규산염유리를 선택하였으며, 이 유리는 테이프캐스팅 공정에 의해 금속판 위에 도포되었다.

2. 실험방법

2.1. 재료 및 제조공정

ESC의 절연층으로는 연화온도가 710°C로써 저온 소결이 가능하고 금속과의 접합이 우수한 소다붕규산염유리(SEM-COM Co., USA)를 선택하였다. 이 유리 절연층을 스테인레스스틸 금속 전극기판위에 테이프캐스팅 하기 위한 슬러리를 만들기 위하여, 유리 분말에 polyvinyl butyral(PVB)계 바인더, 가소제, 분산제 및 용매를 혼합하여 24시간 밀링하였다. 밀링 후의 슬러리는 탈포공정을 거쳐 200~250 μm 의 두께로 금속기판 위에 도포되었다. 이때, 유리 절연층과 금속 전극기판과의 접합성을 증진시키기 위하여 도포전 스테인레스스틸의 상부를 500°C의 대기중에서 산화를 시켰다. 도포 후, 500°C에서 1시간의 탈바인더 공정을 거쳐 710°C에서 1시간 소결을 행하였다. 소결 후, 절연층의 평탄도를 최대화하고 표면거칠기를 최소화하기 위하여 표면연마를 하였다. 표면연마 후, 절연층의 두께는 125 μm 로 제작되었다.

2.2. 물성측정

제조한 ESC에 대한 웨이퍼의 고착압력은 자체 제작한⁷⁾ 실험장치에 의해 측정되었으며, 이 장치의 모형도는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 분위기 조절이 가능한 석영관 안에 온도제어기와 연결된 가열판을 장착하여 그 위에 ESC를 고정시키고, 상부전극 역할을 할 실리콘웨이퍼를 알루미늄판에 은페이스트로 부착하여 ESC 위에 올려놓는다. 전압을 5분간 인가한 후, 전극 뒷면을 모터 제이기로 당기면 연결된 load cell

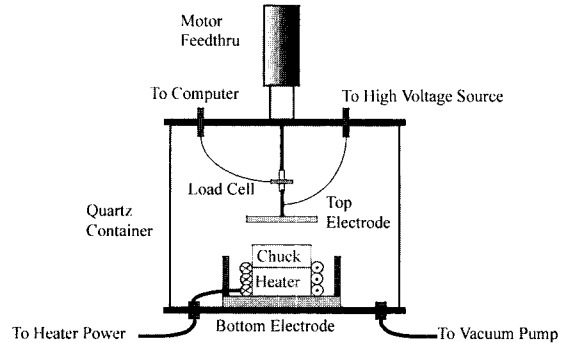


Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus for clamping pressure measurement.

에 인장 하중이 걸리고, 이때 형성되는 전위차는 PC에 기록된다. 각 전위차에 해당하는 압력을 환산하여 압력-인가전압의 데이터를 얻는다. 이때, 고착압력은 ESC 표면에서 실리콘 웨이퍼가 떨어지기 직전의 최대압력으로 정의된다.

ESC의 고착압력특성과 절연층의 전기적 특성간의 상관관계를 분석하기 위하여 절연층의 전기비저항과 유전상수를 측정하였다. 온도변화에 따른 전기비저항은 400°C에서부터 상온까지 노냉하면서 pA Meter (HP 4140B, USA)로 전류를 측정하여 전극의 면적과 유전층의 두께, 인가전압으로부터 계산하였고, 유전상수는 Network Analyzer (HP 8753D, USA)를 이용하여 상온에서 250°C의 온도범위에서 1 kHz와 1 MHz의 주파수로 측정하였다.

ESC의 절연층/금속전극기판의 계면구조와 각 층의 두께 등을 관찰하기 위하여 주사전자 현미경(JSM-5310, Japan)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 절연층-금속전극기판 간의 접합성

ESC가 장시간 사용될 수 있고 안정된 특성을 보이기 위해서는 절연층과 금속전극기판 간의 강한 접합이 필수적이다. 여러 문헌상에 기술된 바와 같이 상이한 재료간의 안정한 접합을 위해서는 계면에서 전자와 원자구조의 연속성이 유지되기 위한 화학적 결합이 형성되어야 한다.⁸⁾ 절연층 도포전에 스테인레스스틸 상부를 산화시키면 접합특성이 우수한 크롬산화물층이 형성되며, 이에 따라 절연층과 금속판간의 안정된 접합이 형성되는 것으로 사료된다. 이는 Fig. 2에 나타난 계면에서의 단면조직사진으로도 확인할 수 있다. 층간 갈라짐이 전혀 없이 절연층이 금속판

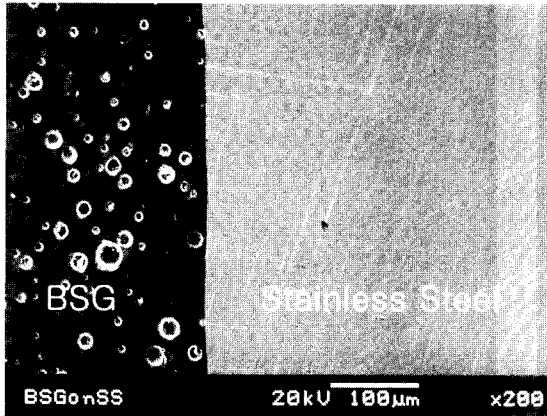


Fig. 2. SEM micrographs at soda borosilicate glass/stainless steel interfaces.

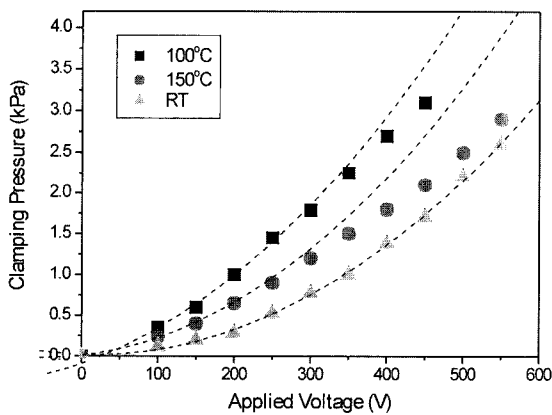


Fig. 3. Clamping pressure of soda borosilicate glass/stainless steel ESC at various temperatures.

에 긴밀히 접합하고 있다.

절연층인 소다붕규산염 유리의 열팽창계수는 $5.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이고 스테인레스스틸 금속기판의 열팽창계수는 $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 으로써 큰 차이가 있지만, 유리의 열팽창계수가 작기 때문에 유리에는 압축응력이 걸리게 되어 오히려 열충격이나 기계적 충격에 더욱 강한 것으로 나타났다. 300°C의 급격한 온도변화나 적당한 하중의 충격에서도 균열이나 층간갈라짐이 전혀 발생하지 않았다.

3.2. 고착압력 특성

ESC의 고착압력(clamping pressure)은 전압을 550 V까지 인가하며, 상온, 100°C~150°C의 온도에서 측정하였다. 측정된 값들을 이론모델식(점선)⁹⁾과 비교

하여, Fig. 3에 나타내었으며, 적용한 이론식은 Eq. (1)과 같다.

$$P = \frac{\epsilon_o V^2}{2 \left(\frac{h_d}{\epsilon_r} + h_{gap} \right)^2} \quad (1)$$

여기서, P는 고착압력, V는 인가전압, ϵ_o 와 ϵ_r 은 각각 진공의 유전상수와 유전층의 상대유전상수, h_d 와 h_{gap} 는 각각 유전층의 두께(125 μm)와 웨이퍼-유전층간의 틈이다.

상온에서는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 고착압력 값이 $P \propto V^2$ 인 이론식과 잘 일치함을 알 수 있다. 한편, 유전층의 위면과 반도체 웨이퍼의 바닥면이 완전 평면일 수 없으므로 두 면간에는 진공의 틈(h_{gap})이 존재하게 되는데, 이 틈은 측정값을 이론식에 피팅(fitting)할 때 h_{gap} 을 미지변수로 하여 계산할 수 있으며, 상온에서 ~1.3 μm 로 나타났다. 이 틈은 온도에 따라 커져서 온도 150°C에서는 2.5 μm 로 나타났다. 이와 같이 온도에 따른 틈의 크기 증가는 약 1 $\mu\text{m}/100^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 이는 유리와 금속간의 큰 열팽창계수차가 그 원인인 것으로 사료된다.

고온에서의 고착압력은 다소 상이한 결과를 나타냈다. 온도 100°C에서의 고착압력은 인가전압 전 범위에서 상온에서의 값보다 컸으며, P-V간의 관계가 인가전압 300 V에서부터 벗어나는 경향을 보였다. 온도 150°C에서는 오히려 100°C에서의 고착압력 보다 작았으며, P-V간의 관계 이탈이 100°C에서의 경우보다도 낮은 250 V에서부터 나타났다.

이러한 결과의 해석을 위해 절연층의 유전상수와

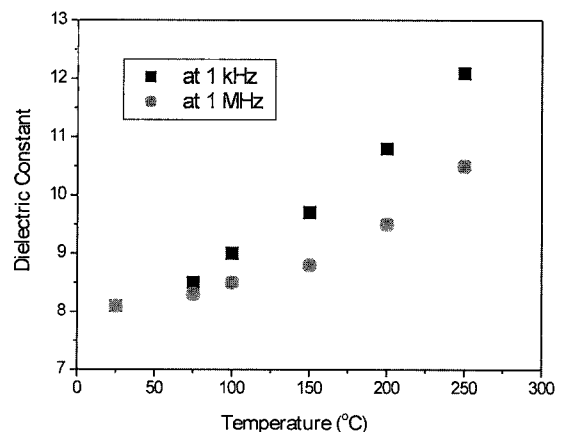


Fig. 4. Dielectric constant of the soda borosilicate glass coating at various temperatures.

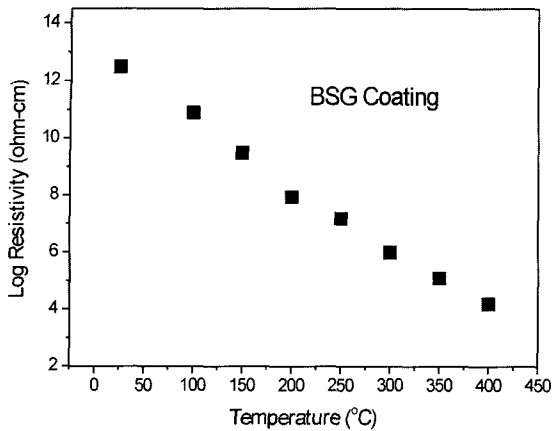


Fig. 5. Electrical resistivity of the soda borosilicate glass coating at various temperatures.

전기비저항을 온도에 따라 측정하였으며, 이를 각각 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 4로부터 알 수 있는 바와 같이 측정 주파수 모두에서 온도에 따라 유전상수가 증가하며, Eq. (1)로부터 상온보다 고온에서 고착압력이 높은 이유가 유전상수의 증가 때문임을 알 수 있다.

한편, 150°C에서 다시 고착압력이 감소하는 현상이나 인가전압이 증가함에 따라 P-V 관계가 이탈하는 현상은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 온도 증가에 따라 또는 인가전압의 증가에 따라 전기비저항이 감소하여, 누설전류의 양이 커졌기 때문인 것으로 해석된다. 절연층 유리의 전기비저항은 150°C에서부터 10^{10} ohm-cm 이하로 떨어지기 시작하여 200°C에서는 10^8 ohm-cm 이하로 되었다. 이상을 종합할 때 본 연구에서 개발한 ESC는 200°C 미만에서 사용하는 것이 적합하며, 보다 높은 온도에서의 적용을 위한 ESC 제작은 저알칼리를 함유한 유리 절연층으로의 대체에 의해 가능하다는 점을 제시할 수 있겠다.

4. 결 론

710°C의 비교적 저온에서 소결이 가능한 소다붕규 산염유리 재료를 선택하여 스테인레스스틸 금속 전극기판위에 테이프캐스팅 공정으로 직접부착하는 방

법에 의해 모노플라형 ESC를 제작하였다. 고착압력 특성의 결과로부터 200°C 이하의 저온 반도체 공정에 본 ESC가 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 고온에서 고착압력의 전반적인 증가는 절연층 유전상수의 증가에 의한 것이며, 또한 고온에서 고착압력-인가전압간의 관계가 이탈하는 것은 온도와 전압의 증가에 따라 누설전류의 양이 증가하기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 연구비(과제번호: R01-2000-00299)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. G. A. Wardley, "Electrostatic Wafer Chuck for Electro Beam Microfabrication", *Review of Scientific Instruments*, 44(10), 1506 (1973).
2. L. D. Hartsough, "Electrostatic Wafer Holding", *Solid State Technol.*, 34(4), 87 (1993).
3. J. Field, "Electrostatic Wafer Clamping for Next-Generation Manufacturing", *Solid State Technol.*, 34(6), 91 (1994).
4. 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), 1108 (1995).
5. J. F. Daviet and L. Peccoud, "Electrostatic Clamping Applied to Semiconductor Plasma Processing", *J. Electrochem. Soc.*, 140(11), 3245 (1993).
6. G-Q Lu and J. Bang, Process for providing a glass dielectric layer on an electrically conductive substrate and electrostatic chucks made by the process, U. S. Patent No. 5,864,459 (1999).
7. J. Bang, "A Study on Development of Dielectric Layers for High-Temperature Electrostatic Chucks", *J. Microelectronic & Packaging Soc.*, 8(3), 31 (2001).
8. G. Partridge, C. A. Elyard, and M. I. Budd, "Glasses and Glass-Ceramics", Chapman and Hall, London, Chap 7, (1989).
9. M. Nakasuji and H. Shimizu, "Low-Voltage and High-Speed Operating Electrostatic Wafer Chuck", *J. Vac. Sci. Technol.*, 10(6), 3573 (1992).