테이프캐스팅에 의한 결정화유리 도포형 정전척의 제조
(Fabrication of Glass-Ceramic Coated Electrostatic Chucks by Tape Casting)

방재철, 이경호
순천향대학교 신소재화학공학부

Abstract

This study demonstrated the feasibility of using tape-casting followed by sintering as a low-cost alternative for coating glass-ceramic or glass film on a metal substrate. The process has been successfully used to fabricate a glass-on-stainless steel and a glass-ceramic-on-molybdenum electrostatic chuck(ESC) with the insulating layer thickness about 150 μm. Electrical resistivity data of the coating were obtained between room temperature and 550℃; although the resistivity values dropped rapidly with increasing temperature in both coatings, the glass-ceramic still retained a high value of 10^{10} ohm-cm at 500℃. Clamping pressure measurements were done using a mechanical apparatus equipped with a load-cell at temperatures up to 350℃ and applied voltages up to 600V; the clamping behavior of all ESCs generally followed the voltage-squared curve as predicted by theory. Based on these results, we believe that we have a viable technology for manufacturing ESCs for use in reactive-ion etch systems.

Keywords: Electrostatic chuck, tape-casting, glass, glass-ceramic, electrical resistivity, clamping pressure

1. Introduction

척(chuck)은 에칭이나 박막증착과 같은 공정에서 반도체 웨이퍼의 고착(clamping)장치로 사용되는 것으로써, 기계척(mechanical chuck)이 주로 사용되었으나, 이 척의 문제점들을 배제할 수 있는 대체품인 정전척(electrostatic chuck, ESC)의 사용이 점차 보편화되고 있다.[1-2)]

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.

본 연구에서는 금속전극 기판위에 절연층을 직접부착하는 방법에 의하여 모노폴라형 ESC를 제조하였다. 절연층으로는 알루미나나 실리카가 많이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 금속기판 위에서 직접 소결이 가능한 결정화유리와 유리를 선택하였다. 결정화유리 ESC는 고온 웨이퍼 공정에, 유리 ESC는 저온 공정에 결정화유리 ESC의 저가형 대체품으로 적용되는 것을 목표로 두고 있다. 결정화유리는 $MgO-Al_2O_3-SiO_2$계를 유리는 소다붕규산염($Na_2O-B_2O_3-SiO_2$)계를 선택하였으며, 이들 분말은 다층세라믹 캐패시터나 고속원형제작(rapid prototyping) 공정에 사용되는 테이프캐스팅(tape-casting) 공정에 의해 금속판 위에 도포되었다.

2. Experimantal

2.1. 재료 및 제조공정

고온용 ESC의 절연층으로 사용한 결정화유리(SEM-COM Co., USA)의 조성은 51% SiO_2, 24% MgO, 21% Al_2O_3으로써, 열팽창계수가 비정질과 결정상에서 각각 4.6과 4.1 ppm/℃이며, 950℃에서 3시간 소결 시, 코디어라이트(cordierite)상으로 결정화 한다. 이 ESC의 금속전극기판으로는 몰리브데늄을 사용했으며, 절연층과의 접합을 위하여 크롬과 니켈을 각각 약 5μm의 두께로 전기도금을 하였다. 한편, 몰리브데늄의 열팽창계수는 결정화유리보다 약간 큰 5 ppm/℃으로써 작동온도 범위에서 결정화유리를 압축응력상태로 유지시켰다. 저온용 ESC의 절연층으로는 소결온도가 700℃인 소다붕규산염(Na_2O-B_2O_3-SiO_2, SEM-COM Co., USA)계 유리를 금속기판으로는 스테인레스스틸을 사용하였다. 각 ESC의 절연층 원료분말은 PVB계 바인더시스템과 혼합되어 슬러리(slurry)형태로 된 후, 테이프캐스팅에 의해 각 금속기판에 200μm의 두께로 도포되었다. 결정화유리/몰리브데늄 ESC는 10%H_2+90%He 분위기에서 온도 950℃로 3시간, 유리/스테인레스스틸 ESC는 대기중에서 온도 700℃로 3시간 소결하였다. 소결 후, 절연층의 평탄도를 높이기 위하여 연마(polishing) 및 래핑(lapping)을 하였으며, 절연층의 최종 두께는 150μm로 되었다.

2.2. 물성측정

제조한 ESC에 대한 웨이퍼의 고착압력은 자체 제작한[3] 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 ESC의 절연층 위에 올려놓는다. 전압을 5분간 인가한 후, 전극 뒷면을 모터 제어기로 당기면 연결된 load-cell에 인장 하중이 걸리고, 이때 형성되는 전위차는 PC에 기록된다. 각 전위차에 해당하는 압력을 환산하여 압력-인가전압의 데이터를 얻는다. 이때, 고착압력은 ESC 표면에서 실리콘웨이퍼가 떨어지기 직전의 최대압력으로 정의된다.

ESC의 고착압력특성과 절연층의 전기적 특성간의 상관관계를 분석하기 위하여 절연층의 전기비저항을 측정하였다. 온도변화에 따른 전기비저항은 550℃에서부터 상온까지 노냉하면서 pA Meter(HP 4140B, USA))로 전류를 측정하여, 전극의 면적과 유전층의 두께, 인가전압으로부터 계산하였다.

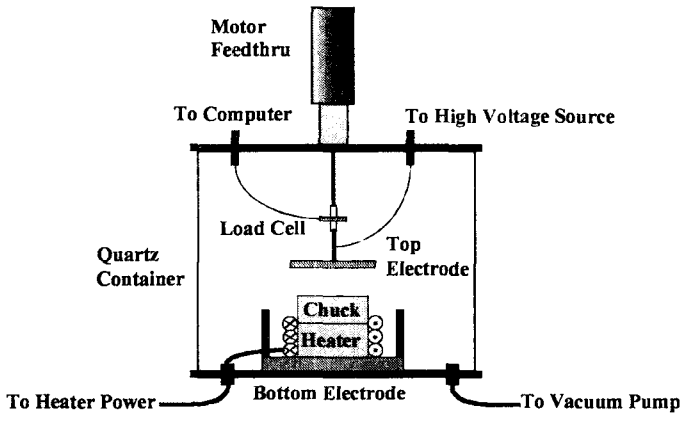

Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus for clamping pressure measurement.

3. Results and Discussion

3.1 전기비저항

각 ESC의 최대작동온도를 결정하기 위하여 결정화유리층과 유리층의 온도변화에 따른 전기비저항을 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 결정화유리는 500℃에서도 10^{10} ohm-cm 이상의 전기비저항을 유지하는 반면, 소다붕규산염유리의 전기비저항은 온도증가에 따라 급격하게 떨어져 200℃에서 10^{10} ohm-cm 이하의 값을 나타냈다.

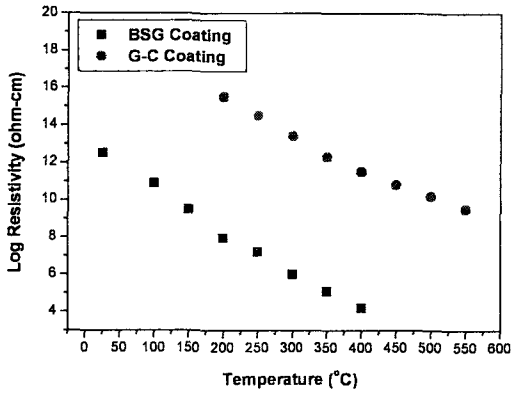

Fig. 2. Electrical resistivity of the glass(BSG) coating on stainless steel and glass-ceramic coating on molybdenum at various temperatures.

3.2 고착압력

ESC의 고착압력을 평가하기 위하여 DC 전압과 온도변화에 따른 고착압력의 변화를 측정하였으며, 이를 Fig. 3에 나타내었다. 측정된 고착압력값은 이론모델식[4]에 나타난 바와 같이 V^2에 비례하는 경향을 보였다. 이때, 적용한 이론모델식은 웨이퍼의 후면과 결정화유리층간에 표면 불균일에 의한 공기 틈(air gap)을 고려한 수식을 사용하였으며, 적용한 수식은 아래 Eq. (1)과 같다.

$$P = \frac{\varepsilon_o V^2}{2\left(\frac{h_d}{\varepsilon_r} + h_{gap}\right)^2} \qquad (1)$$

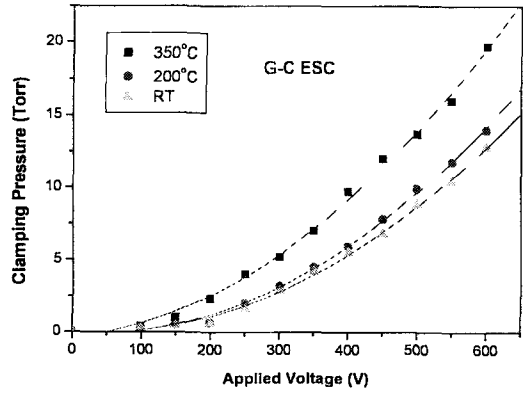

Fig. 3. Clamping pressure of glass-ceramic/molybdenum ESC at different temperatures.

350℃에서 고착압력의 큰 증가는 온도증가에 따른 유전상수의 증가와 고온에서 절연층과 금속전극기판간의 열팽창계수차에 의한 곡율이 다소 완화되어 평탄도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig 4는 상온에서 측정한 소다붕규산염유리 ESC의 결과를 나타내었는데, 결과에서 알 수 있는 바와 같이 상온에서의 고착압력 특성은 결정화유리 ESC와 큰 차를 나타내지 않는 것으로 나타나 저온공정에서의 적용에는 문제가 없음을 알 수 있다.

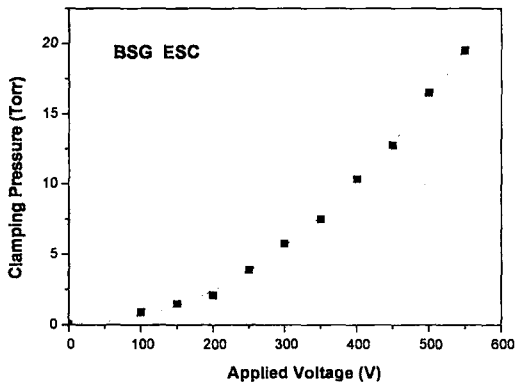

Fig. 4. Clamping pressure of glass/stainless steel ESC at different temperatures.

4. Conclusions

유리나 결정화유리를 금속전극 기판 위에 테이프캐스팅하여 1000℃이하의 저온에서 소결하는 방법에 의하여 정전척(electrostatic chuck, ESC)을 제작하였다. 온도에 따른 전기비저항 측정결과로부터 결정화유리/몰리브데늄 ESC는 500℃의 높은 온도까지 사용가능하며, 유리/스테인레스스틸 ESC는 200℃까지의 저온공정용에 결정화유리/몰리브데늄 ESC의 저가형 대체품으로 적용할 수 있음을 알 수 있었다. 온도 및 인가전압에 따른 고착압력(claming pressure) 측정결과로부터 유리나 결정화유리 ESC 모두 600V의 높은 인가전압이 가능함을 알 수 있었으며, 특히 고온에서 절연층의 유전상수와 평탄도의 증가에 따라 결정화유리/몰리브데늄 ESC의 고착압력이 크게 증가하였다.

Acknowledgment

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

References

[1] L. D. Hartsough, "Electrostatic Wafer Holding", *Solid State Technol.*, 34(4), 87 (1993).

[2] J. Field, "Electrostatic Wafer Clamping for Next-Generation Manufacturing", *Solid State Technol.*, 34(6), 91 (1994).

[3] J. Bang, "A Study on Development of Dielectric Layers for High-Tempeature Electrostatic Chucks", *J. Microelectronic & Packaging Soc.*, 8(3), 31 (2001).

[4] M. Nakasuji and H. Shimizu, "Low-Voltage and High-Speed Operating Electrostatic Wafer Chuck", *J. Vac. Sci. Technol.*, 10(6), 3573 (1992).