

알루미나/텅스텐 동시소성에 의한 다층 팩키지 제조시 적층조건에 따른 camber의 변화

성재석 · 구기덕 · 윤종광* · 이상진** · 박정현***

전자부품종합기술연구소
(주) 글로텍

**일리노이 주립대학 재료공학과

***연세대학교 세라믹공학과

(1997년 5월 30일 접수)

Changes of Camber on Lamination Conditions in Alumina/Tungsten Cofiring Multilayer Package

J.S. Sung, K.D. Koo, C.K. Yoon*, S.J. Lee** and J.H. Park***

Korea Electronic Technology Institute

*GLOTECH Inc.

**Dept. of Material Sci. and Eng., University of Illinois

***Dept. of Ceram. Eng., Yonsei Univ.

(Received May 30, 1997)

요 약

알루미나와 텅스텐을 동시소성하는 다층 세라믹 팩키지 제조시 적층조건이 camber에 미치는 영향을 실험하였고, 텅스텐 후막 자체의 정확한 수축을 값을 측정함으로써 알루미나와의 소결수축 거동을 고찰하였다. 적층압의 증가에 따라 알루미나의 소결 수축율은 감소하였으나 텅스텐 후막의 수축을 값은 거의 변화하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 적층공정에서 텅스텐, 알루미나간의 소결 수축을 차이를 일으키는 것은 세라믹의 수축을 변화때문인 것으로 생각된다. 적층압력이 높고, 알루미나 sheet의 밀도가 높을수록 camber 값은 감소하였는데, 이것은 알루미나와 텅스텐간의 수축을 차이가 줄어들기 때문에 나타난 결과로 생각되며, 이러한 수축을 차이와 camber 간에는 직선적인 관계가 성립하였다. 그리고, 알루미나와 텅스텐간의 수축을 차이는 동시소성후 후막의 두께 및 via hole 미세구조에도 변화를 일으킴을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In cofiring of multilayered alumina with tungsten, the change of camber with lamination condition was experimented and the effect of sintering shrinkage of alumina and tungsten was investigated. From the exact measurement of sintering shrinkage of tungsten thick film, as lamination pressure increased, the sintering shrinkage of alumina decreased but that of tungsten thick film was not changed. So it was thought that the main factor which induced the sintering shrinkage difference between ceramics and metal with lamination condition was the change of sintering shrinkage of ceramics. In case of high lamination pressure, high green sheet density, the cofired specimen showed low camber due to low shrinkage difference between alumina and tungsten and there was a linear relation between camber and shrinkage difference. It was found that this shrinkage difference could change the thickness of tungsten film and the microstructure within via hole during cofiring.

Key words : Multilayered alumina, Camber, Tungsten, Cofiring, Lamination, Package, Sintering shrinkage

1. 서 론

다층 세라믹 패키지의 제조시 회로를 형성하기 위해 세라믹 green sheet위에 입혀진 금속은 동시소성을 통해 소결되어 세라믹과 접합하게 된다. 금속과 세라믹간의 접합은 전자부품뿐만 아니라 기계구조용 분야에서도 사용되어서 접합에 관한 연구는 오래전부터 진행되어 왔다.¹⁻⁴⁾ 소성공정중 접합기동에는 세라믹과 금속간의 화학작용, 계면에서의 확산정도 등의 인자가 영향을 미치게 되며, 세라믹과 금속내에 존재하는 유리질의 양과 조성, 입자크기, 소결 분위기 등의 변수에도 접합상태가 민감하게 변화하게 된다.⁵⁻⁸⁾

다층 세라믹 패키지에서의 수축률 조절은 패키지 재료의 휨(warpage) 등의 결함을 방지하기 위해 그리고 IC 칩과의 실장을 위한 정확한 크기제조를 위해 매우 중요하게 되어 수축률 조절 등에 대한 연구는 오래전부터 활발히 진행되어 왔다.⁹⁻¹¹⁾ Chance⁷⁾는 알루미늄 green sheet에 입자크기 및 크기분포가 다른 텅스텐 금속을 메탈라이징시켜 수축률 조절을 시도하였다. 입자크기에 따라 텅스텐의 수축률 값이 달라지고 이를 이용해 휨이 없는 접합을 하였으며, 유기 첨가물을 혼합하여 텅스텐의 수축률을 조절하기도 하였다. Hayduk¹¹⁾은 텅스텐과 알루미늄을 여러 가지 소결분위기에서 동시 소결시킨 후 물성을 관찰하여 소결분위기가 휨 등의 현상에 미치는 영향을 관찰하여 환원분위기 소결시 산소분압이 높을수록 최소 camber 값을 가짐을 발표하였다. Sawhill¹²⁾은 저온소성기판과 Au, Ag 등의 금속과의 동시소성에 대해 수축률 변화 및 소결저동 등을 연구하였고, 최근에는 Lu¹³⁾이 세라믹과 금속후막간의 수축률 변화를 정밀하게 관찰하기 위해서 camber를 광학으로 측정하는 새로운 방법(non-contact optical technique)으로 저온소성기판과 Au 후막과의 수축률 정합(matching)을 관찰하는 연구를 하였다.

이상과 같이 세라믹과 금속간의 수축률 정합은 실험자들의 공통된 연구과제로 많은 실험이 이루어져 왔다. 그러나 대부분의 실험은 green sheet의 특성이나 금속 paste의 물성에 대한 연구이고, 적층공정이 포함될 경우에는 적층조건에 따라서 green sheet의 초기 수축률 값과는 또다른 수축률 값을 나타내게 된다.¹⁴⁻¹⁵⁾ 따라서 세라믹/금속 수축률 조절에 대한 체계적 연구를 위해서는 다층 세라믹 패키지 제조와 동일한 공정조건 하에서, 즉, 적층공정이 포함된 상태에서 세라믹/금속 동시소성에서의 소결수축 현상을 관찰해야 할 필요가 있고, 이에대한 연구는 아직까지 시도된 바가 없다.

본 연구에서는 세라믹의 소결 수축 현상을 토대로 하여 금속과의 동시소성시 소결수축 현상을 관찰하는 것

을 목적으로 하고, 이때 적층공정의 변수로써 나타나는 camber등의 물성 변화를 연구하였다. 그리고, 이러한 현상을 소결수축률의 관점에서 설명하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. green sheet의 제조

green sheet 제조를 위한 세라믹 물질로는 알루미늄 분말을 주원료로하여 talc와 kaolin을 용제로 첨가하였으며, 착색제로는 MoO₃와 Cr₂O₃를 사용하였으며 이때 총 알루미늄 성분은 92w/o이었다. 유기결합제로는 polyvinyl butyral (PVB)을, 가소제로는 di-butyl phthalate (DBP), 용매로는 톨루엔과 에탄올의 혼합 용매를 사용하여 슬러리를 제조하였다. 이후 제조된 슬러리를 tape-casting 공정에 의해 casting하여 두께 약 760 μm의 균일한 green sheet를 제조하였고, 이에대한 자세한 제조방법은 기존의 논문¹⁶⁾에서 기술한 바와 같다.

2.2. 후막인쇄

알루미늄 green sheet와 동시소성한 금속물질로는 텅스텐 페이스트를 사용하였다. 본 실험에서 사용한 텅스텐 페이스트는 페이스트내에 존재하는 용제양에 따라 Table 1과 같이 3종류(W1, W2, W3)로 구분하였다. 페이스트의 인쇄는 스크린 프린터를 이용하여 25×40 mm 크기의 green sheet 표면에 20×30 mm의 직사각형의 모양을 인쇄하였다. 인쇄시 사용된 mask frame 크기는 10×10 inch 이었고, mask의 재질은 stainless steel (325 mesh)이었으며, 유제막의 두께는 20 μm, bias 각도는 45°, tension은 0.86 mm/kg 이었다. 인쇄공정중 인쇄속도 및 squeezer의 하중은 70 mm/sec 및 20 psi 그리고 snap off 값은 0.54 mm로 고정하여 동일한 후막두께를 갖도록 하였다. 그리고 인쇄한 후에는 80°C에서 30분간 유지하여 후막을 건조시켰다.

2.3. Via hole 형성 및 Via filling

hole 천공 기계를 이용하여 green sheet에 직경 200 μm의 hole을 형성하였고, dispenser를 이용하여 형성된

Table 1. Tungsten Pastes used in this Experiments and their Compositions.

Tungsten Pastes	Composition of Elements in Powders (w/o)	
	Tungsten	Flux
W1	100	0
W2	93.02	6.98
W3	83.45	16.55

via hole 내부를 텅스텐 페이스트로 via filling 하였다.

2.4. 적층 및 열처리

적층압력에 따른 수축거동을 관찰하기 위해 green sheet를 1층 혹은 3층을 준비하여 laminating jig인 금속 몰드 내에서 10~50 MPa의 압력하에서 적층하였으며, 적층온도와 시간은 65°C, 1 분으로 고정하였다. 적층된 시편은 유기물 탈지공정을 거친 후 수소와 질소가 혼합된 환원분위기하에서 열처리할 수 있는 batch 형태의 로 내에서 소결시켰다. 소결시 setter로는 시편과의 반응성이 없는 Mo판을 사용하였고 소결온도는 1540°C이었으며 이 온도에서의 유지시간은 2.5시간 이었다.

2.5. 측정 및 분석

2.5.1. 상분석 및 미세구조 관찰

소결체의 성분을 관찰하기 위해 X선 회절 분석기(Rigaku Co., Japan)를 이용하여 상분석을 하였다. 2θ의 범위는 10~90° 구간이었고, target은 Cu를 사용하였으며 scan speed는 4°/mm 이었다. 세라믹/금속 계면의 미세구조와 후막층의 두께를 관찰하기 위해 시편을 연마한 후 주사전자 현미경(Hitachi M-600, Japan) 및 광학현미경을 이용했다. 세라믹과 금속 층에서의 성분 분포 관찰은 EPMA (Jeol, JSM-35CF, Japan)를 이용하였으며, 계면 층에서의 각 성분을 line profile 법으로 분석하였다.

2.5.2 수축률 측정

텅스텐 및 세라믹의 소결수축율은 평면방향(X-Y방향)에 대해 구하였으며, 선수축율은 1 μm까지 측정가능한 계측기가 부착된 광학현미경 (X-Y projector)을 이용하여 소결 전, 후의 길이를 측정하여 구하였고 계산식은 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100(\%)$$

여기서, α: 선 수축률
 l₀: 소결전 길이
 l: 소결후 길이

2.5.3 camber 측정

금속과 세라믹과의 동시소성시 수축률 차이에 의한 휨정도를 알기위해 camber 값을 측정하였다. 동시소성된 시편의 최고 높이와 시편 두께를 측정한 후 이 값의 차이인 gross camber 값을 구하였고, 이때 camber 값이 양(+)인 것은 금속이 인쇄되어 있는 뒷면 방향으로 볼록한 형상을 하고 있다는 것을 의미한다.

2.5.4 꺾임 강도 측정

test용 시편은 5×4×30 mm 크기로 제작하고, 표면과 모서리를 연마한 후 만능시험기(Instron 6022, In-

stron Co., U.S.A.)를 이용하여 3점 꺾임법에 의하여 꺾임강도 값을 측정하였다. 이때 span 거리는 20 mm, cross head speed는 0.5 mm/min로 하였다. 결과치는 5개 시편의 평균치로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 동시소성에 의해 접합된 텅스텐(W1)/알루미나의 표면과 단면 SEM 사진의 결과를 나타낸 것이다. 표면이나 단면에서 모두 텅스텐과 알루미나간의 반응층이 생성되지 않았음을 관찰할 수 있고, 층과 층 사이가 뚜렷하게 구분되고 있음을 알 수 있다. 동시소성된 시편의 XRD 측정 결과 텅스텐과 알루미나 간에는 새로운 화합물이 형성되지 않았음을 알 수 있었고, 이는 기존의 논문⁴⁾과 일치함을 확인 할 수 있었다.

Fig. 2는 텅스텐/알루미나 계면에서의 반응성 관찰을 위해서 단면을 EPMA 분석을 한 결과이고, 적층체 제조시 적층압력에 따른 차이를 알아보기 위해 10 MPa과 50 MPa로 적층한 2종류의 적층체에 대해 측정하였다. (a) 및 (b)에서 알 수 있듯이 W이나 Al 성분 모두 계면에서의 확산현상은 발견되지 않았으며 적층 압력에 따

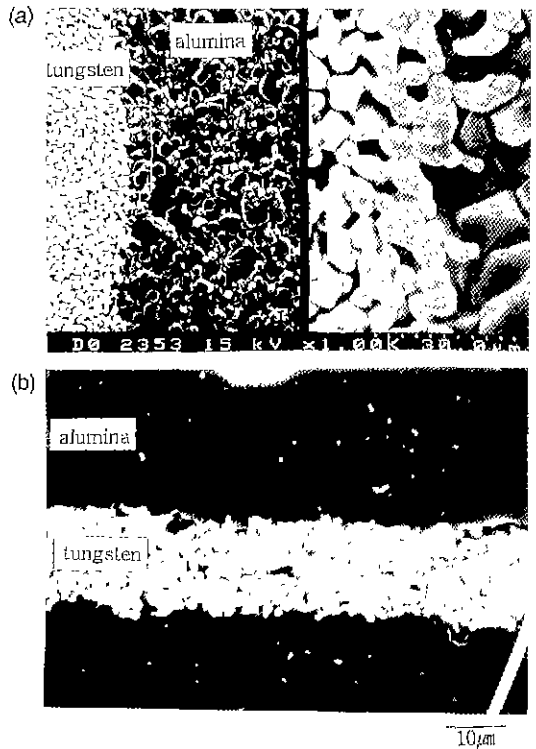


Fig. 1. SEM micrographs of tungsten coated alumina at interface. (a) surface and (b) cross section.

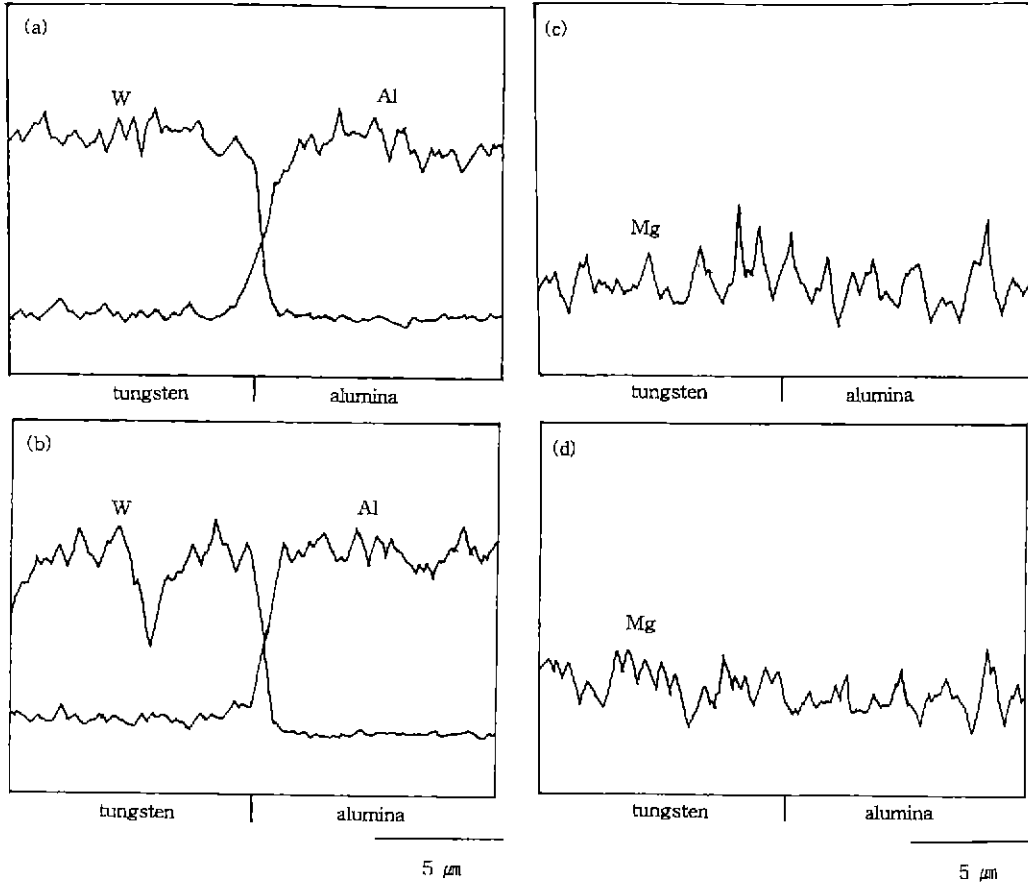


Fig. 2. Microprobe analysis (EPMA) of metal/ceramic interface.

(a) lamination pressure : 10 MPa (element : Al, W) (b) lamination pressure : 50 MPa (element : Al, W)
 (c) lamination pressure : 10 MPa (element : Mg) (d) lamination pressure : 50 MPa (element : Mg).

른 차이도 없음을 알 수 있다. (c) 및 (d)에서의 Mg 성분은 세라믹내에서 용제역할을 하는 talc 내에 존재하는 성분으로, Mg 성분의 분포는 결국 생성된 유리상의 분포를 나타내는 것으로 생각할 수 있다. 결과를 보면 Mg 성분은 금속 및 세라믹 모두에 걸쳐 고른 분포를 하고 있고, 적층압력에 따른 차이도 나타나지 않았다. 결국, 알루미늄내의 유리상이 동시소성 공정을 통해 텅스텐층 내부로 이동하여 접합을 일으켰음을 알 수 있었고, 텅스텐 층 내부에서도 고른 분포를 하고있는 것으로 보아 충분히 유리상의 이동이 일어났다고 생각할 수 있었으며 Fig. 1(b)의 파단면을 확대하여 관찰한 결과 유리상의 존재를 확인할 수 있었다.

이상의 실험에서 텅스텐/알루미나 사이에 화학적 반응은 일어나지 않았고, 따라서 접합시 물성에 영향을 미치는 여러 인자중에서 소결 수축률은 매우 중요하다고 생각할 수 있다. 금속/세라믹간의 수축률 조절에 대한 연구

결과로는 기존의 여러 연구결과가 발표되어 있고^{7,9-11)}, 이러한 수축률 조절 및 해석을 위한 필수요건은 금속과 세라믹의 정확한 수축률 값의 측정이라 할 수 있다. 특히 두께가 약 10~30 μm 의 후막형태로 존재하는 금속층의 수축률 측정은 어려워서 금속분말을 일축가압 성형한 후 수축률을 측정하는 방법을 사용하나, 페이스트로 인쇄된 상태와는 입자의 충전에 차이가 있으므로 실제 후막의 수축률과는 다른 값을 갖게되어 정확한 고찰을 할 수 없다. 따라서 본 실험에서는 후막자체의 수축률 값을 얻고자 W 페이스트를 mylar 필름위에 인쇄하고 건조시킨 후 페어내 이를 반응성이 없고 평활한 면을 갖는 알루미늄 판위에서 소결시켜 텅스텐 후막 자체의 X-Y 방향의 수축률 값을 구하였다. 실험에 사용한 3가지 텅스텐 페이스트중 용제(flux)를 함유하지 않은 W1의 경우에는 본 방법으로 수축률 값을 구할 수 있었으나 용제(flux)를 포함하고 있는 W2, W3에서는 휨 현상이 일어

나서 측정할 수 없었다. 이는 소결시 금속 페이스트내에 존재하는 유리질의 이동에 의한 것으로 생각된다.

본 실험에서는 적층공정이 포함되고 이에따라 각각 다른 수축률 값을 나타내므로 텅스텐 후막의 경우에도 1층의 후막 자체에 압력을 준 후 X-Y 방향의 소결 수축률을 측정하였고, 이 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그 결과 알루미늄의 수축률 값과는 다르게 텅스텐의 경우는 압력에 상관없이 약 9.23%의 거의 일정한 수축률 값을 나타낼을 알 수 있었다. 이는 알루미늄 sheet의 경우와

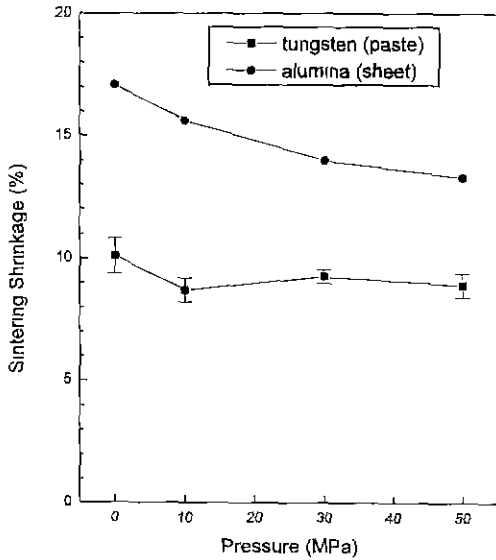


Fig. 3. Changes in sintering shrinkages of alumina sheet and tungsten paste with pressures.

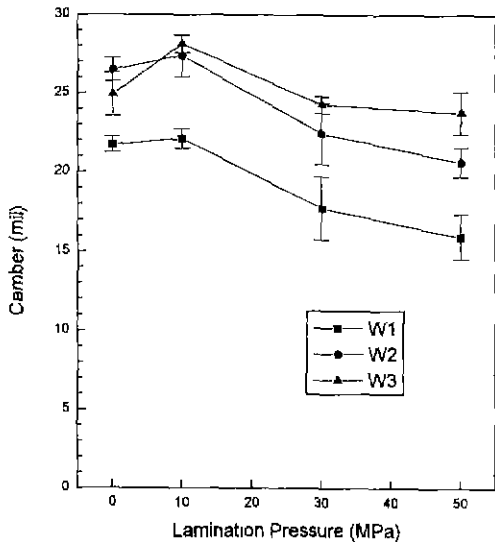


Fig. 4. Changes in camber with lamination pressures and kinds of tungsten pastes.

달리 건조된 후막내에 존재하는 유기결합체는 cellulose로서 유연성이 떨어지기 때문에 압력에 의한 충전 효과가 매우 적게 일어났기 때문으로 생각한다.

Fig. 4는 서로 다른 텅스텐 후막이 인쇄된 단층 알루미늄 green sheet를 동시소성한 후 적층압력에 따른 camber 값의 변화를 나타낸 것이다. 적층압력이 높을수록 낮은 camber 값을 가짐을 알 수 있었고, 이것은 텅스텐과 알루미늄 간의 수축률 차이가 줄어들었기 때문으로 생각한다. 그리고 텅스텐 페이스트 내에 존재하는 용제(flux)의 양이 증가함에 따라 camber 값은 증가하는 경향을 나타내었다. 텅스텐 페이스트내의 용제(flux)는 텅스텐의 소결을 증진시켜 수축률 값을 키치게 되고, 이에따라 알루미늄과의 수축률 차이가 줄어들어서 낮은 camber 값을 나타낼 것으로 예상되나 반대의 결과가 나온 것은 접합거동의 차이로 인한 결과로 생각된다. 즉, 텅스텐 페이스트내에 용제(flux)가 없는 W1의 경우 세라믹내에 존재하는 유리질이 텅스텐 쪽으로의 이동에 의해 접합이 일어나게 되나, W2, W3에서는 자체적으로 용제(flux)를 함유하고 있으므로 이중 모세관 기구(twin capillary model)¹⁰⁾에 의해 상대적 기공크기의 차이에 따라 금속층에서 세라믹 층으로의 유리질 이동 또한 일어나게 된다. 이러한 영향으로 camber에 영향을 미치는 실제 텅스텐 페이스트의 수축률 값은 용제양이 증가함에 따라 작아진 것으로 생각된다.

세라믹/금속간의 수축률 차이에 대한 camber의 영향을 분석하기 위해 알루미늄 sheet 자체에 압력(0, 10, 30, 50 MPa)을 주어 sheet의 밀도를 높인 후 텅스텐을 인쇄하여 동시소성하는 방법으로 실험한 후 camber 값

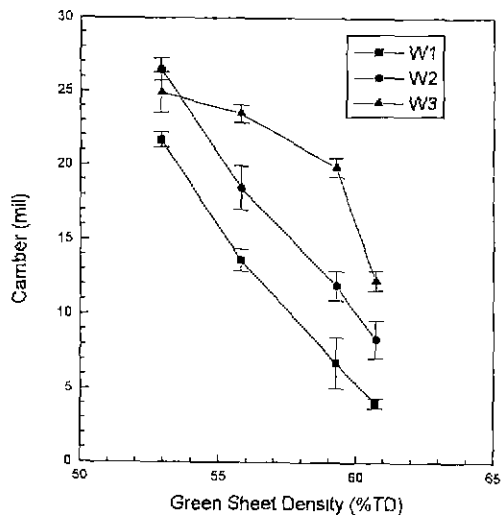


Fig. 5. Changes in camber with green sheet densities and kinds of tungsten pastes.

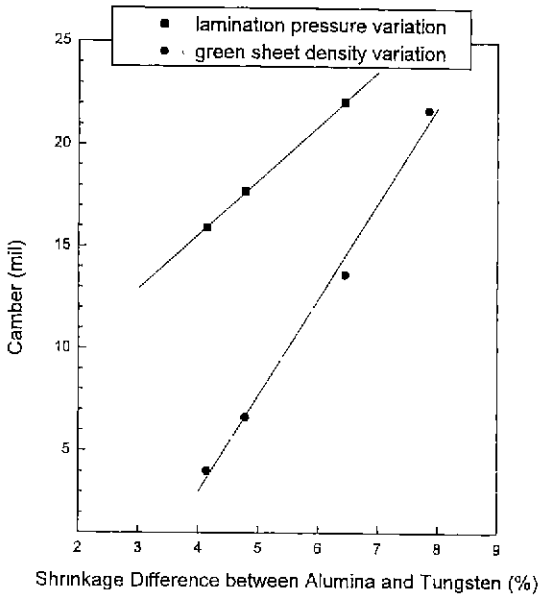


Fig. 6. Effect of shrinkage difference between alumina and tungsten on camber.

의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 텅스텐 인쇄후 압력을 준 Fig. 4의 결과와 비슷한 경향을 나타내었으나, camber 값은 급격히 감소함을 알 수 있었다.

이러한 결과들은 소결수축률간의 차이로 발생한 결과로 생각할 수 있고, W1에 대해 알루미나와 텅스텐의 소결 수축률간의 차이로 정리하여 Fig. 6에 나타내었다. 알루미나와 텅스텐간의 수축률 차이와 camber 간에는 두 경우 모두 직선적인 관계가 성립함을 알 수 있다. 여기서 sheet의 밀도와 camber와의 직선적인 관계식을 이용하여 금속/세라믹 동시소성시 일어나는 금속 후막 자체의 수축률을 예측할 수 있게된다. 즉, camber가 0일 때 알루미나와 텅스텐의 수축률이 동일하다고 가정할 경우 이때의 알루미나 sheet 밀도를 Fig. 5로부터 외삽법을 이용해 구할 수 있고, 적층밀도와 소결 수축률간에는 직선적인 관계가 성립한다는 이전의 실험결과¹⁵⁾에 의해 sheet의 밀도로부터 X-Y 방향의 소결수축률 값을 계산할 경우 텅스텐 후막의 수축률 값은 10.27%로 계산된다. 이 값은 후막의 수축률 값을 직접 측정된 값보다 약 1% 높은 값을 나타내어 거의 비슷하였고, 이러한 약간의 증가는 동시소성중 텅스텐 쪽으로 이동한 유리질이 텅스텐의 소결수축률을 증가시킨 것으로 생각된다. 용제(flux)가 첨가된 W2의 경우도 같은 직선식을 갖는다고 가정할 경우 수축률 값은 9.34%로 계산된다. 즉 이 값은 동시소성중 실제로 camber 등에 영향을 미치는 소결수축률 값으로 생각할 수 있고, 용제의 첨가에 의해 이러한 텅스텐의 X-Y 방향의 소결수축률 값을 감소함을 알 수 있다.

요업학회지

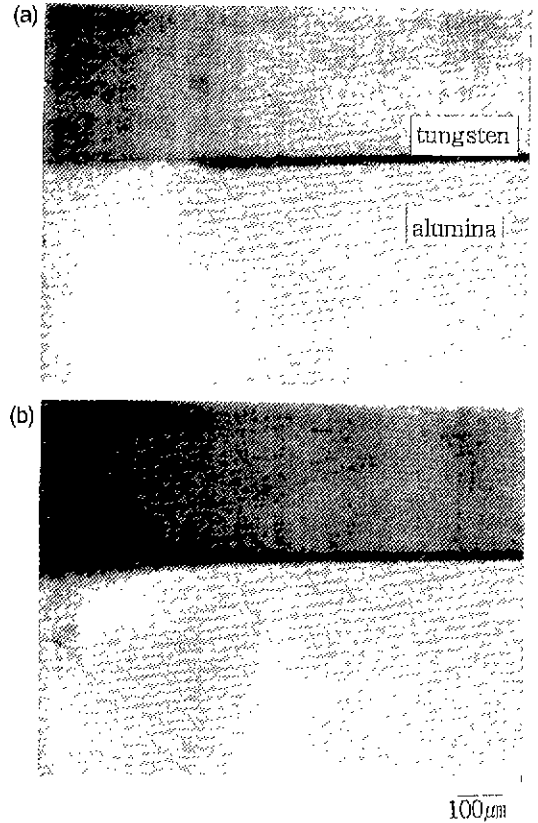


Fig. 7. Optical micrograph of tungsten-alumina interface.

- (a) lamination of printed sheet.
- (b) printing on pressed sheet.

Fig. 7은 sheet에 페이스트를 인쇄한 후 압력을 준 시편과 sheet 자체에 압력을 준 후 페이스트를 인쇄한 시편의 단면을 비교한 광학사진이다. 그림에서 보듯이 (A)의 경우는 적층압력으로 인해 텅스텐 층이 알루미나 내로 일부 들어간 형상을 하고있고, (B)에는 이러한 현상이 없었다. 이처럼 텅스텐 층이 존재하는 형상의 차이에 의해 Fig. 6에서 두 직선식간의 차이가 나타난 것으로 생각되고, (B)의 경우에 텅스텐 층이 알루미나내로 들어가지 않았기 때문에 소결수축률 차이에 의한 정확한 해석이 가능하게 된다. 실제로 세라믹 팩키지중 다층 세라믹 팩키지는 적층공정을 통해 (A)와 같은 형상을 갖게되고, 단층으로 이루어진 팩키지는 적층공정이 없으므로 (B)의 모양을 나타내게 되어 적층공정은 계면에서 금속층의 형상변화도 일으킴을 확인하였다.

Fig. 8, 9는 소결체에 대한 적층압력과 기계적 강도와 의 관계를 나타낸 결과이다. 알루미나 자체만의 경우 (Fig. 8) 적층압에 무관하게 약 400 MPa의 거의 일정한 강도값을 나타내었고, 이는 적층 조건에 따라 적층체의

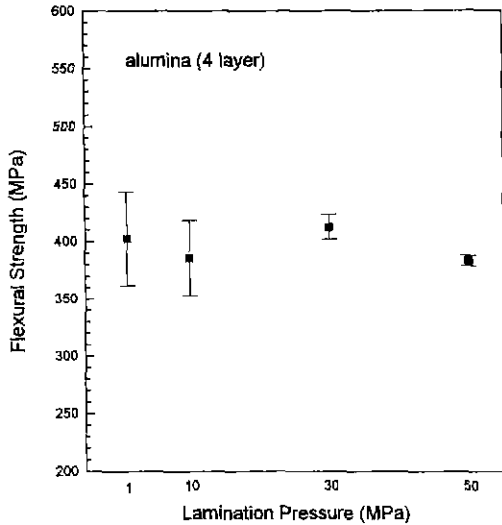


Fig. 8. Changes in flexural strength of alumina with lamination pressures.

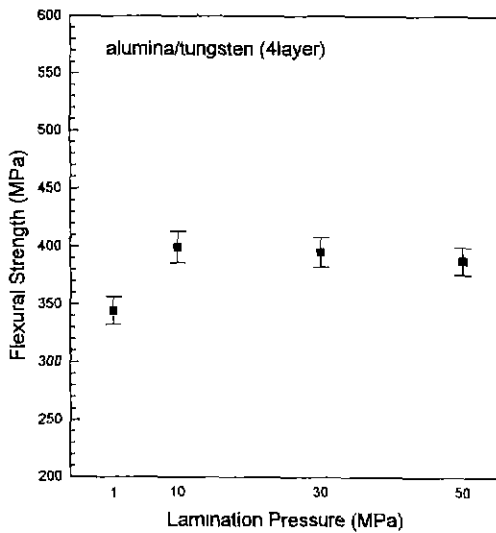


Fig. 9. Changes in flexural strength of alumina including one inner tungsten layer with lamination pressures.

밀도는 다르지만 소결공정중 액상소결을 통해 소결밀도가 동일하게 나타났기 때문¹⁴⁻¹⁵⁾으로 생각된다. 내부에 텅스텐을 한층 포함하는 시편의 경우도 (Fig. 9) 10~50 MPa의 적층압에서 강도값은 비슷하였으나, 1 MPa의 낮은 적층압의 경우는 강도값이 낮았다. 이것은 낮은 적층압으로 인해 알루미나의 소결수축률이 높아짐으로 텅스텐과의 수축률 차이가 커지고 이로인해 미세균열을 생성시킬 가능성이 클 것으로 생각되고, 또한 낮은 압력으로 인해 불완전한 적층이 되었을 것으로 생각되어 이

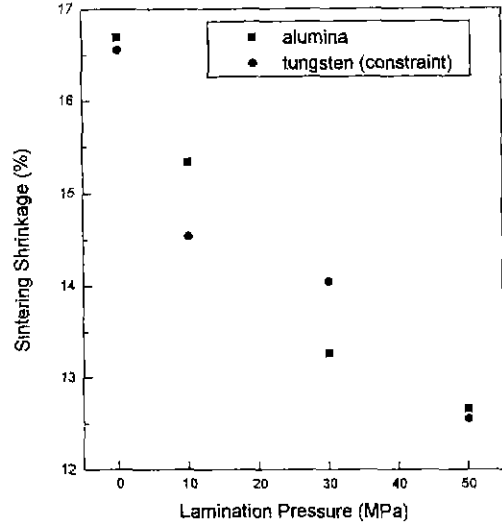


Fig. 10. Changes in sintering shrinkages of alumina sheets and constrained tungsten paste with lamination pressures.

것이 강도값을 낮춘 또 하나의 이유로 생각된다.

금속/세라믹 접합시 수축률 차이로 camber가 발생하게 되나 금속후막이 미세한 선의 형태로 인쇄한 경우에는 인쇄된 후막의 면적이 세라믹에 비해 매우 작기 때문에 휨현상을 발생시키지 못하게 된다. 이러한 경우에 세라믹에 접합된 금속후막의 X-Y 소결 수축률은 세라믹의 수축률 값을 따르게 되며, Fig. 10에는 선모양의 텅스텐 후막(선폭≒2 mm)을 알루미나 표면에 인쇄한 후 소결시켜 camber가 일어나지 않도록 조절한 후 텅스텐과 알루미나의 X-Y 방향 소결수축률을 측정하였다. 예상한 바와 같이 텅스텐 후막의 수축률은 알루미나와 거의 동일함을 확인하였다. Fig. 11은 SEM으로 텅스텐층의 소결전, 후 두께를 관찰한 것으로서, 텅스텐층의 두께가 열처리후 조금 증가한 특이한 현상을 관찰할 수 있다. 텅스텐 후막의 면저항값을 측정하여도 9~10 mΩ/□의 일반적인 값이 측정되어 금속의 산화현상은 아님을 확인하였고, 소결후 두께가 증가한 이 현상은 텅스텐, 알루미나 수축률 차이에 의한 것으로 생각된다. 즉 세라믹의 수축률이 텅스텐 자체의 수축률에 비해서 크고, 세라믹과 접합된 상태에서의 (세라믹에 의해 억제된 상태) 텅스텐의 수축률은 세라믹과 같은 값을 갖게되므로 이러한 수축률의 차이만큼 후막에 압축응력이 형성된다고 생각할 수 있다. 그리고, 이러한 압축응력은 동시소성 과정에서 텅스텐 후막에 두께방향으로의 소성변형을 일으키게 되어 열처리 후 두께가 증가한 것으로 생각할 수 있다. 그러나, X-Y 방향의 수축률 값과 두께변화를 고려하여 텅스텐 후막의 체적수축률을 계산한 결과 약 15~

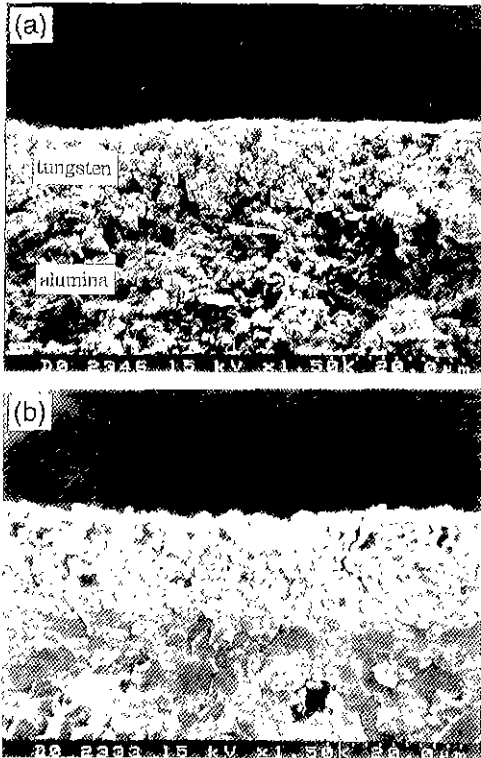


Fig. 11. SEM micrographs at tungsten/alumina interface. (a) before sintering and (b) after sintering

20%의 체적수축률 값을 나타내어 텅스텐층의 치밀화는 진행되었으나 소결수축률 차이에 의해 형성된 응력으로 두께방향으로의 변형이 생성된 것으로 생각된다.

Fig. 12, 13에는 적층조건에 따른 외부 텅스텐층의 두께변화와 내부층의 두께 측정 결과를 나타내었다. 적층압력이 높아짐에 따라 텅스텐과의 수축률 차이가 줄어들어 소결 후 후막두께가 얇아지는 것으로 생각된다.

Fig. 14는 텅스텐과 알루미늄의 소결 수축률이 via hole의 미세구조에 미치는 영향을 관찰하기위해, W1과 W3의 2종류의 텅스텐 페이스트로 via hole 내부를 채운 후 적층압력을 달리하여 적층한 후 소결시킨 소결체의 단면을 광학현미경으로 관찰한 결과이다. via hole은 다층 세라믹 패키지 제조시 각 층간을 연결하는 통로의 역할을 하고 있고, 이곳에서의 결함은 제품의 전기적 단락 등의 치명적인 영향을 나타내게 된다. 그림을 보면 용제(flux)가 없는 W1의 경우에는 적층압에 상관없이 via hole 내부가 텅스텐으로 잘 채워진 상태임을 알 수 있고, 용제(flux)를 다량 함유하고 있는 W3의 경우에는 적층압이 10, 30 MPa인 경우 불완전하게 채워진 상태이었고, 50 MPa의 적층압에서 고르게 채워짐을 알 수

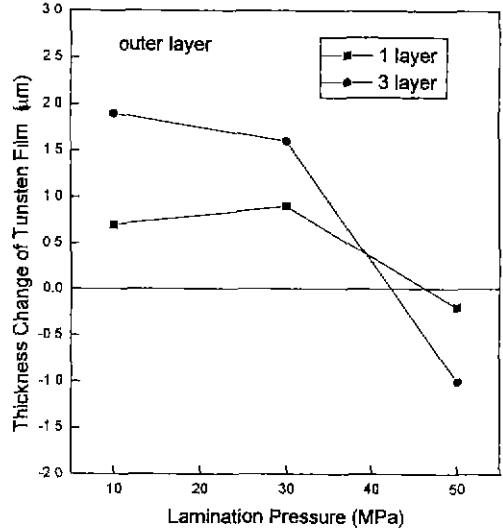


Fig. 12. Thickness changes of tungsten film with number of layers and lamination pressures at outer tungsten layer.

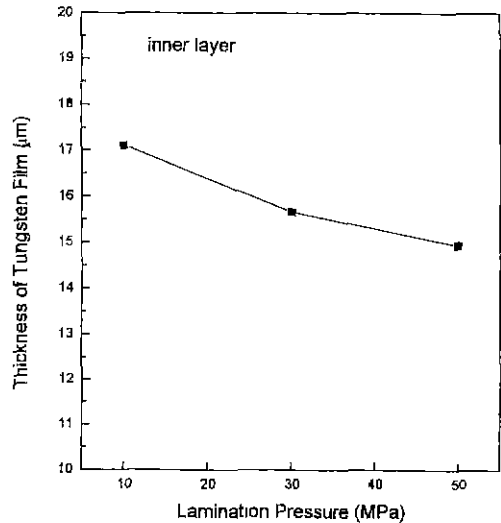


Fig. 13. Thickness changes of tungsten film with lamination pressures at inner outer tungsten layer.

있다. 다른 모든 공정조건이 동일한 상태이므로 이러한 차이도 소결 수축률의 차이에 의한 결과로 생각할 수 있다. 적층압에 따른 Z방향의 수축률 결과에서(Fig. 15) via hole 구조에 미치는 수축률 값은 적층전 두께와 소결 후 두께로부터 계산되는 총수축률 값이고, 적층압이 10, 30, 50 MPa일 때의 값은 각각 20.63, 23.65, 24.42%이다. 이러한 Z 방향의 총수축률 값과 via hole의 지름 크기의 변화(X-Y 방향의 수축률)를 고려하여 소결 후 일어나는 실린더 형태의 via hole의 총 체적 수축률 값을

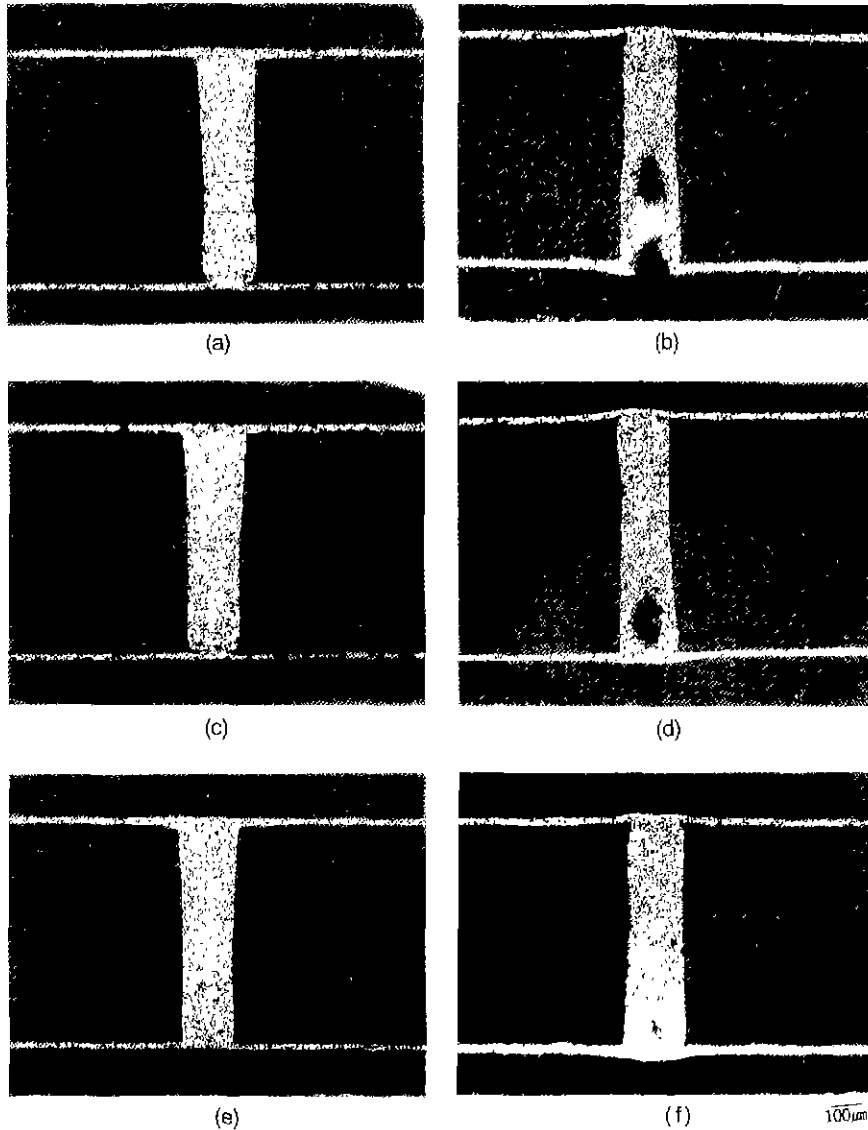


Fig. 14. Optical micrographs of tungsten within via hole with lamination pressure and kinds of tungsten pastes.
 (a) 10 MPa, W1 (b) 10 MPa, W3 (c) 30 MPa, W1 (d) 30 MPa, W3 (e) 50 MPa, W1 and (F) 50 MPa, W3

구하면, 42.5, 42.3, 42.0%로 거의 비슷한 값을 가짐을 알 수 있다. W1 텅스텐의 경우에는 텅스텐의 체적수축률 값이 알루미늄의 via hole 체적 수축률 값보다 작아서 소결시 압축효과에 의해 via hole 내부가 고르게 채워진 것으로 생각한다. 그러나, W3 페이스트 내에는 용제(flux)가 존재하여 텅스텐 함량은 W1에 비해 낮고, 동시소성중 텅스텐내에 존재하는 유리상의 이동에 의한 텅스텐과 알루미늄간의 접합이 일어나며, 이때 via hole 내부의 텅스텐이 계면으로 이동하여 빈 공간의 결함이 생기는 것으로 생각된다. 그리고, 50 MPa의 압력

을 가한 경우에는 via hole에 채워진 텅스텐 입자의 충전밀도가 높아짐으로 인하여 이러한 결함이 발생하지 않은 것으로 판단된다. 결국, 알루미늄/텅스텐 간의 소결 수축률 차이는 via hole의 미세구조에도 영향을 미칠 수 있었다.

4. 결 론

알루미늄/텅스텐 동시소성에서 적층공정 변수가 camber 등에 미치는 영향을 관찰하고, 텅스텐 후막 자

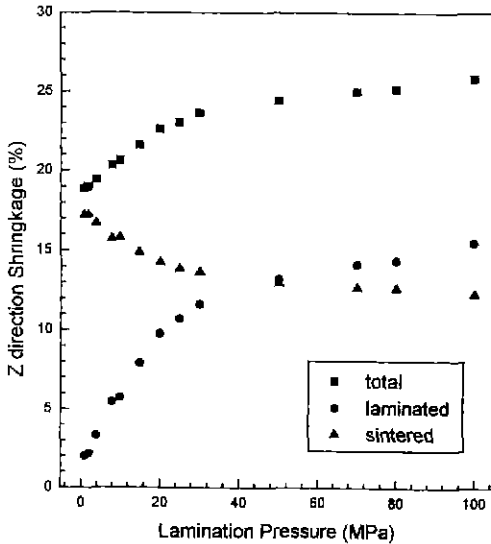


Fig. 15. Lamination, sintering and total shrinkages with lamination pressures in Z direction

체의 수축을 값을 측정함으로써 이를 소결수축거동과 연관시켜 설명하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 텅스텐과 알루미늄 간에는 새로운 화합물이 형성되지 않는 집합거동으로 계면에서의 W과 Al의 확산은 일어나지 않았다. 그리고, 유리상으로 존재하는 Mg 성분은 텅스텐과 알루미늄 모두에 고르게 분포하고 있어서 세라믹내의 유리상이 텅스텐층 내로 충분한 이동이 일어났음을 알 수 있었다.

2. 텅스텐이 인쇄된 알루미늄 green sheet를 열간압착할 때 적층압의 증가에 따라 알루미늄의 소결수축률은 감소하나 텅스텐 후막의 소결수축률 값은 변화하지 않았다.

3. 적층압력이 높을수록, 그리고 알루미늄 green sheet의 밀도가 높을수록 camber값은 감소하였고, 이것은 알루미늄과 텅스텐간의 수축률 차이에 의한 것이며, 이러한 수축률 차이와 camber와는 직선적인 관계를 나타내었다.

4. 알루미늄과 텅스텐간의 수축률 차이는 텅스텐 후막에 응력을 형성시켜 적층조건에 따라 후막의 두께가 변화하는 물리적 변형을 일으켰고, via hole내에 채워진 텅스텐도 체적 수축률의 변화로 적층압력에 따라 다른 구조를 나타내었다.

REFERENCES

1. L. Reed and R.A. Huggins, "Electron Probe Mi-

croanalysis of Ceramic-to-Metal Seals", *J. Am. Ceram. Soc.* **48**(8), 421-26 (1965).

2. R.M. Fulrath and E.L. Hollar, "Manganese Glass-Molybdenum Metallizing Ceramics," *Ceram. Bull.*, **47**(5) 493-97 (1968).

3. J. Guille, A. Bettinelli, J. Boissier and J.C. Bernier, "Cosintering of Alumina with Cobalt or Chromium doped Tungsten at 1400°C." *J. Mat. Sci.* **24**, 97-100 (1989).

4. G. Behrens and A.H. Heuer, "Microstructural Characterization of Cofired Tungsten-Metallized High-Alumina Electronic Substrates," *J. Am. Ceram. Soc.*, **75**(10) pp.2815-2824 (1992).

5. K. Otusaka, T. Usami and M. Sckihata, "Interfacial Bond Strength in Alumina Ceramics Metallized and Cofired with Tungsten," *Ceram. Bull.*, **60**(5) 540-45 (1981).

6. M.E. Arthur and L.E. Fussell, "Effect of Sintering Conditions on Al₂O₃-MoMn Bond Strengths," *Ceram Bull.*, **50**(12), 982-84 (1971).

7. D.A. Chance, "Retractory Metallization of Green Ceramics," *Metallurgical Transaction*, vol.1 March, 685-694 (1970).

8. K. Sahara, T. Okinagaa and K. Otsuka, "Bond Strength between Metallized Tungsten and Cofired Ceramics," *IMC 1982 Procceding*, Tokyo, May, 24-26 (1982).

9. P.F. Varadi and R. Domingues, "Tungsten Metallizing of Ceramics," *Ceram. Bull.*, **45**(9), 789-91 (1966)

10. J.H. Park and S.J. Lee, "Effect of Oxygen Partial Pressure on Tungsten-Alumina Bonding Behavior," **27**(6), 755-62 (1990).

11. E.A. Hayduk, K. Berger and B.A. Hasseler, "Furnace Aytmosphere's Effect on Cofiring Tungsten-Alumina Miltilayer Substrates," *J. Am. Ceram. Soc.*, **75**(10), 2815-24 (1992).

12. H.T. Sawhill, "Materials Compatibility and Cosintering Aspects of Shrinkage Control in Low-Temperature Cofired Ceramic Packages," pp.307-319, in *Ceramic Substrates and Packages for Electronic Applications*, Advances in Ceramics, Vol. 26, the American Ceramic Soc. Inc, 1989.

13. G.Q. Lu, R.C. Suterlin and T.K. Gupta, "Effect of Mismatched Sintering Kinetics on Camber in a Low-Temperature Cofired Package," *J. Am. Ceram. Soc.*, **76**(8), 1907-14 (1993).

14. 성재석, 구기덕, 윤종광, "다층 세라믹스 제조시 적층 공정 변수에 따른 수축을 조절," *요업학회지*, **33**(11), 1253-1259 (1996).

15. 성재석, 구기덕, 윤종광 "다층 세라믹스의 소결 수축율에 대한 binder burnout 온도의 영향," *요업학회지*, **33**(12), 1373-1379 (1996).