Journal of the Korean Ceramic Society
Vol. 36, No. 5, pp.490~496, 1999.

고주파용 저온 동시소성 세라믹(LTCC) 칩 커플러 제조 : II. Ag 이온 확산에 대한 소결공정의 영향

이선우 · 김경훈* · 심광보* · 구기덕**
한양대학교 세라믹소재 연구소
*한양대학교 세라믹공정연구센터
**(주)케이세라
(1998년 12월 23일 접수)

Fabrication of Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC) Chip Couplers for High Frequencies : II. Effect of Sintering Process on Ag Diffusion

Seon Woo Lee, Kyoung Hun Kim*, Kwang Bo Shimb* and Kee Duk Koo**
Ceramic Materials Research Institute, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
*Ceramic Processing Research Center, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
**K-Cera Inc., 351 TBI Center, KyungHee Univ., Yongin 449-701, Korea
(Received December 23, 1998)

초 록

LTCC(low temperature cofired ceramics) 칩 커플러의 제조공정 중 글라스세라믹 초벌후막 및 Ag 전극의 저온동시소결에 따른 Ag 이온 확산 및 미세구조를 조사하였다. 소결온도는 825°C-975°C였으며, 상업용 그린쉬트 및 은페이스트를 사용하였다. 875°C 이하에서는 Ag 이온의 확산이 적고 전극의 치밀화가 진행되나, 900°C 이상에서는 기판 및 Ag 전극의 유동성 증가로 전극의 기질로의 확산 및 유리상의 전극내부로의 침투가 활발하게 일어나고 있었으며 전극라인은 심한 변형이 일어났다. Ag 이온은 주로 유리상으로 확산되었으며 975°C 이상에서는 결정상의 유리화 및 Ag 전극의 용융에 기인하여 상당량의 Ag 이온이 확산되었다.

ABSTRACT

The sintering behavior of LTCC (low temperature cofired ceramics) chip couplers was investigated in relation with Ag diffusion at the interface of glass ceramic substrate-Ag electrode. Sintering temperature was in the range of 825°C-975°C. The commercial green sheet and silver electrode were used. Below 875°C, the diffusion of the Ag ion was not detected and the densification of the electrode was greatly improved. Above 900°C, however, the diffusion of the Ag ion into the substrate and the penetration of glassy phases into the electrode occurred due to an increase of fluidity. Thus the electrode line was severely deformed and damaged. At 975°C, the transformation of crystalline phases into glassy phases and the melting of the Ag electrode resulted in the diffusion of the considerable amount of Ag ions.

Key words* : *LTCC, Ag diffusion, Coupler, Microstructure, Glass

1. 서 론

국내외의 무선통신기술의 급격한 발전과 더불어 휴대용 이동통신기기를 이용한 음성 이외의 문자 혹은 인터넷과 같은 다양한 고급정보통신의 필요성이 날로 증가됨에 따라 고품질의 무선통신기기에 대한 수요도 빠른 속도로 신장되고 있다. 따라서 마이크로 대역의 주파수를 사용하는 PCS(personal communication system)나 GPS(global positioning system)와 같은 무선통신기기의 예에서 보는 바와 같이 기기의 소형화, 경량화, 고기능화, 저가격 및 고효율성 등이 제품의 경쟁력 강화를 위한 주요 현안로써 크게 대두되고 있다.[1] 이러한 요구가 충족되기 위해서는 효율적이고 높은 생산성을 가지며 신뢰도가 높은 전자회로부품의 제조기술 확보가 선행되어야 한다. 따라서 기판과 금속전극을 함께 소성하는 세라믹기판-금속전극 동시소성계(co-fired ceramic-metal electrode system)을 이용한 적층 세라믹 집적회로 소자의 개발이 활발히 이루어 지고 있다.[2-4] 이 방법은 공정이 간단하고, 소자의

형상에 대한 제한이 적어 고밀도 집적회로의 모듈화에 적합하고, 또한 제조된 소자들은 고주파 영역에서 높은 신뢰도을 갖는 등의 다양한 장점을 가지고 있다.[5,6]

그러나 종래의 유전체 세라믹스를 기판으로 이용할 경우 고온의 소성온도에 기인하여 Pt나 Pd와 같은 고가의 금속을 내부전극으로 사용해야 하는 제한이 따르고, 또한 이들 금속전극은 비저항이 커서 전송손실이 크다는 단점이 뒤따른다. 따라서 동이나 은과 같은 융점이 낮고 전도성이 큰 금속을 내부전극으로 사용하기 위하여 글라스세라믹을[7] 이용한 저온 동시소성 시스템(low temperature cofired ceramics, LTCC)에 대한 연구가 활발히 전개되고 있다.[8]

일반적으로 수 GHz이하 주파수용 LTCC 소자의 기판 재료로 사용되는 것은 저온에서 결정을 석출시킬 수 있는 조성을 갖는 유리계이거나 혹은 알루미나 또는 유전체 분말에 규석계열의 유리를 혼합한 글라스/세라믹 혼합계이다. 따라서 글라스세라믹 기판의 유전특성은 필요에 따라 알루미나/유전체 결정립의 함량조절 혹은 유리계 조성을 변화시킴으로써 용이하게 제어될 수 있다. 이들 글라스세라믹 재료는 유기결합제를 혼합하여 유연성을 강화한 두께 수백 μm의 초벌후막으로 제조된 후에, 각각의 표면에 미리 설계된 전극회로를 인쇄하고, 이들을 다시 적층가압하여 800°C-1000°C의 저온에서 소성함으로써 LTCC 적층세라믹 소자가 제조된다.

이러한 공정으로 제조된 소자의 특성은 기판의 유전특성과 금속전극의 종류에 큰 영향을 받으며, 특히 GHz 이상의 고주파 영역에서는 skin효과의 증대로 소자의 전기적 특성이 인쇄된 금속전극의 표면 굴곡도에 크게 좌우된다.[5,9] 이들 인자들은 동시소결조건에 따른 결정상 및 전극의 확산현상에 의존하며, 기판으로 금속전극의 확산은 전극의 형태 및 금속전극/글라스세라믹 기판계면의 유전상수를 변화시켜 누설전류, 유전체의 절연파괴 등과 같은 현상을 일으킬 수 있다.[10] 또한 금속전극의 입자들과 유리상의 상호작용은 주로 유리상의 연화 혹은 점도 변화에 영향을 받으며, 이는 2차상의 생성 또는 금속전극의 변형, 확산 등을 초래할 뿐만 아니라,[11] 냉각과정 중 융착되어진 금속전극과 글라스세라믹 기판간의 열팽창 계수의 차이에 의한 응력의 발생으로 금속전극-세라믹 기판의 분리 혹은 크랙발생 등에 의한 계면의 변형을 고려할 수 있다. 따라서 글라스세라믹-금속전극 계면에서 금속전극의 확산현상과 같은 소결거동의 이해는 후막의 미세구조 제어를 통한 소자의 특성제어 및 신뢰성 있는 새로운 글라스세라믹 기판 개발을 위한 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

그러므로 본 연구에서는 이동통신 단말기용 1.8 GHz SMD(surface mount device)형 세라믹 칩 커플러 제조를 위한 기초연구로써 글라스세라믹-금속전극의 소결거동 규명을 위한 연구의 일환으로 분해공정의 영향에 대한 제 1보에[12] 이어 상용 글라스세라믹 기판 및 Ag 전극 적층 소자의 소결조건에 따른 Ag 전극의 확산거동을 미세구조 및 미세화학적 분석을 이용하여 조사하였다.

2. 실험방법

상용되고 있는 초벌후막(green sheet)과 Ag 전극 페이스트를 이용하여 적층 칩 커플러를 제조하였다. 제조된 칩 커플러 시편은 air 분위기에서 400°C에서 1시간 동안 유지시켜 결합제를 연소시켜 제거하고, 825°C~975°C의 범위에서 20분간 소결하였으며 이때의 승온속도는 10°C/min이였다. 본 연구에 사용된 상용시편 및 커플러 제조에 대한 것은 제 1보[12]에 상세히 나타내었다.

소결된 시편의 상분석 및 미세구조분석 그리고 조성분석 및 전극의 확산정도를 분석하기 위하여 X선 회절분석, EDXA(electron dispersive X-ray analysis), 그리고 전자현미경 및 광학현미경 관찰를 행하였으며, 정량적 화학분석을 위하여 EPMA(electronprobe microanalysis)를, 그리고 계면에서 원소 분포를 분석하기 위하여 SIMS (secondary ion mass spectroscopy)분석을 행하였다. 소결에 따른 전극라인의 변화를 관찰하기 위하여 시편을 적층방향에 대하여 45°의 각으로 절단, 연마하였으며, 또한 소결시편의 열팽창 계수를 구하기 위하여 TMA (thermomechanical analysis)를 행하였다.

3. 결과 및 고찰

먼저 본 실험에 사용된 상용 초벌후막의 조성분석을 위하여 미세화학분석(SIMS, EDXA 그리고 XRD)을 행한 결과 초벌후막은 alumina와 calcite 결정립과 유리의 혼합물로써 유리상은 borosilicate계가 주성분으로 그리고 수식이온으로써 Li, Na, K, Ca, Pb가 첨가된 조성을 가지고 있다. 소결에 따른 유리상의 결정화와 관련하여 소결처리된 후막시편의 미세구조 및 EDX 분석을 행하였다. Fig. 1(a)의 전자현미경 BS(backscattered) 사진에서 나타나듯이 각각의 상은 그 상을 이루고 있는 성분원자에 따라 각기 다른 contrast를 가지며 이로부터 소결 후 글라스세라믹 기질은 크게 2종의 상으로 구분되었다. 먼저 Fig. 1(a-A)에서 어둡게 나타나는 상들은 Fig. 1(b-A)의 대표적인 EDXA 스펙트럼에서 보듯이 Al_2O_3 결정립이거나 혹은 Al-Si-Ca계(anorthite) 결정상이며, Fig. 1(a-C)의 밝게 보이는 상은 Fig. 1(b-C)의 EDXA 스펙트럼으로부터 Pb가 포함된 Si-Al-Pb계 유리질상이다. Fig. 1(a-B)의 Ag 전극에서는 Fig. 1(b-B)로부터 Si가 검출된 것으로

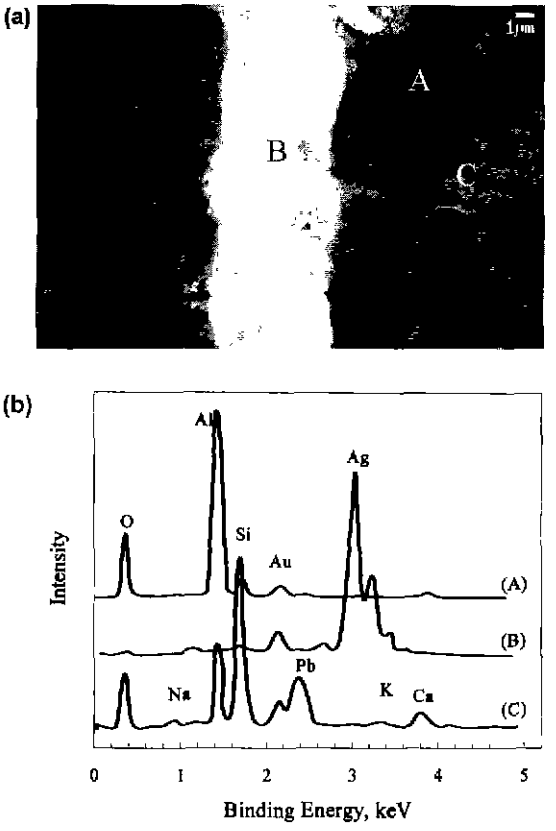


Fig. 1. Microstructure and chemical analysis of the substrate-silver interface : (a) SEM backscattered image and (b) EDXA spectra.

보아 소량의 SiO_2계 유리가 Ag 페이스트에 결합제로 첨가된 것으로 사료된다.

위의 사실은 Fig. 2의 초벌후막과 소결된 시편의 XRD 분석으로부터 확인할 수 있다. 먼저 초벌후막의 XRD 주피크들은 대부분 Al_2O_3를 나타내고 있었으며 약 2θ=29°에서 $CaCO_3$ 피크를 발견할 수 있다. 이는 초벌후막의 제조에 알루미나뿐만 아니라 calcite 결정립도 충진제로 사용되었음을 시사한다. 그러나 초벌후막을 소정의 소결온도 825°C 이상에서 열처리하면 주피크들 역시 Al_2O_3였으나 calcite피크는 크게 감소하는 대신에 약 2θ=27° 부근에서 anorthite 결정피크가 크게 성장하고 있다. 이는 calcite의 분해과정을 통하여 공급된 Ca이온이 anorthite 결정생성에 기여하고 있음을 시사한다. 제 1보를 통하여 보고한 바와 같이 유리상의 결정화로 인한, 즉 Al-Si-Ca계 anorthite와 Si-Al-Pb계 유리상으로의 상분리는 Ag 전극의 확산거동에 큰 영향을 미치고 있었으며, 특히 Ca와 Pb이온은 소량임에도 Ag 전극의 확산거동에 주요한 요소로 작용함을 밝힌 바 있다.

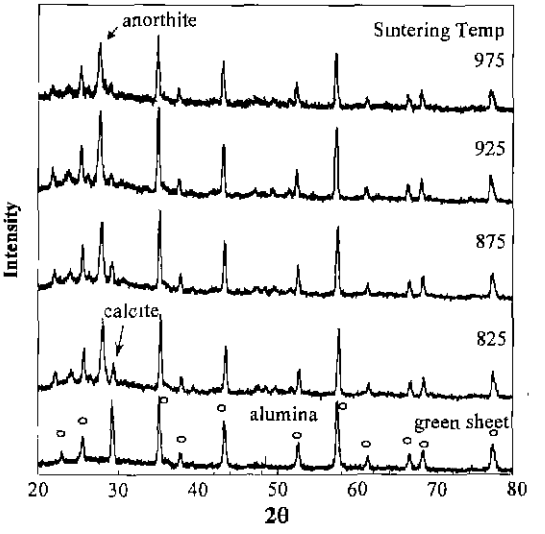


Fig. 2. XRD patterns of the glass ceramic substrate with firing temperature.

따라서 글라스 세라믹 기판의 소결거동에 따른 Ag 이온의 확산거동을 자세히 조사하기 위하여 825°C-925°C 범위에서 소결한 시편의 EPMA분석을 행하였으며, 이때 사용된 전자빔의 스폿크기는 2 μm였다. Fig. 3은 Ag 전극 내부 혹은 기질 영역에서 Ag 전극의 경계면으로부터의 거리에 따른 Ag 이온농도를 측정한 것이다.(이후 계면으로부터 Ag 전극 내부로의 거리는 D_{Ag}, 기질로의 거리는 D_{Sub}로 표기). Fig. 3(a)에 나타낸 바와 같이 유리상 영역에서 Ag 이온의 확산거동은 소결온도에 따라 큰 차이를 나타냈다. 875°C에서 소결된 시편의 경우, 전극-기질 경계면(D=0)에서 Ag 이온은 약 98 atomic%이나 계면에서 글라스세라믹 기질로 멀어짐에 따라 Ag 이온농도는 약 D_{sub}=2 μm에서 약 1 atomic% 그리고 D_{sub} =4 μm에서 약 0.6 atomic%로 급격히 감소하였다.

일반적으로 전자빔을 이용한 미세화학분석에 있어 분해능을 향상시키기 위해서는 전자탐침(electron probe) 전류를 낮게 하고 가속전압을 높임으로써 스폿 크기(electron probe diameter)를 줄여야 한다. 그러나 가속전압의 증가는 전자탐침과 시편과의 상호작용으로 시편 표면 아래에서 X선 방사체적(emitting volume)을 증가시킴으로써, 실제로 얻어진 정량/정성분석 결과는 분석하고자 하는 지점과 이웃하는 다른 상에 대한 정보도 포함하고 있다.[13] 이러한 전자빔과 시편의 상호작용에 의한 산란효과는 두께가 얇은 시편에서보다 체적이 큰 bulk시편에서 더 크게 나타난다. 그러므로 본 시편의 경우 분석지점이 Ag 전극과 가까울수록 전극의 Ag 이온이 검출될 확률은 높아질 것이다.

따라서 875°C에서 소결된 시편의 경우, Ag 전극 계면

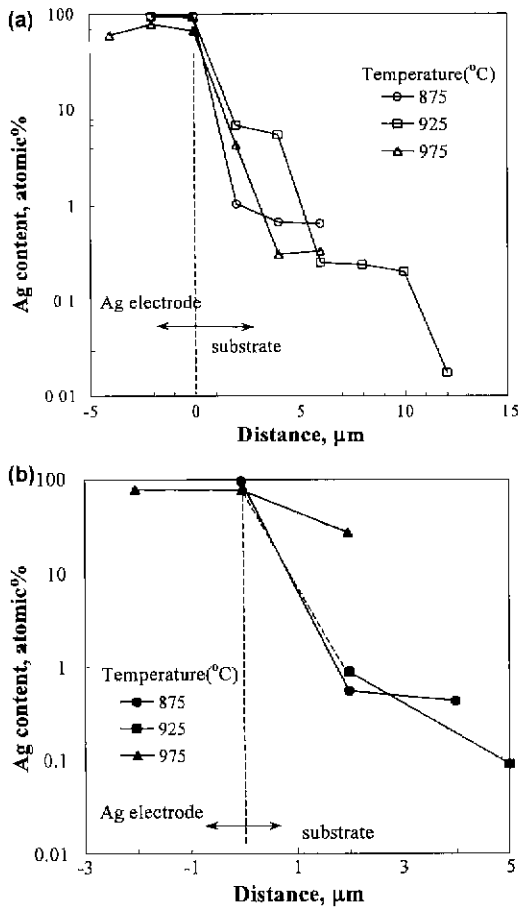


Fig. 3. EPMA analysis of the Ag ion at (a) the glassy phase and (b) the crystalline phase.

에 근접한 거리(D_{sub}=2 μm)에서 미량의 Ag 이온이 검출되는 것은 Ag 이온의 확산에 의한 것이라기보다는 EPMA 측정시 전자산란 효과가 더 크게 작용했기 때문으로 사료된다. 그러나 925℃와 975℃에서 소결된 시편들은 D_{sub}값이 전자빔 스폿 크기보다 큰 Ag 전극으로부터 비교적 먼 거리인 5-6 μm에서 Ag 이온 농도가 약 6 atomic%에 달하여 875℃에서 소결된 시편의 Ag 이온 분석결과와 비교할 때 Ag 이온이 확산된 결과임을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 결정상 영역에서의 Ag 전극의 확산거동을 나타낸 것으로써 925℃ 이하에서는 D_{sub}=2-4 μm에서 1 atomic% 미만의 Ag 이온농도를 나타내어 유리상보다 결정상으로의 Ag 이온의 확산이 어려움을 보이고 있는 반면에, 975℃에서는 D_{sub}=2 μm에서 비정상적으로 큰 Ag 이온 농도 25 atomic%를 보이고 있었다.

이와 같은 Ag 이온 확산과 상조성간의 상관관계를 조사하기 위하여 소결온도에 따른 결정상과 유리상 조성의

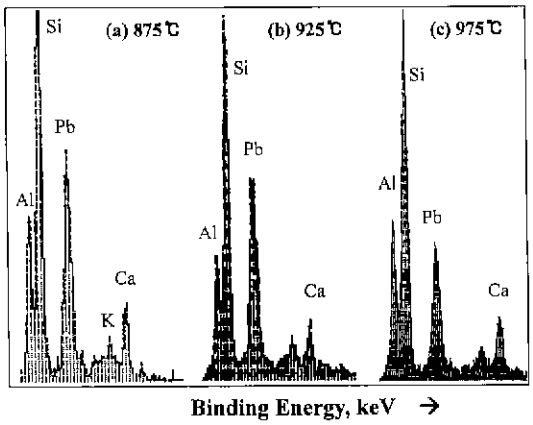


Fig. 4. EDX spectra of glassy phases

변화를 EDX분석을 통하여 관찰 하였다. EDX 미세화학분석에서 Li과 B은 유리상에 존재할 것으로 사료되나 사용기기의 분석한계를 벗어나 있어 아래의 논의 대상에서 제외하였다. 소결 시편에 대한 BS mode에서 밝은 영역으로 나타나는 유리상의 조성은 Fig. 4의 EDX 스펙트럼에서 보는 바와 같이 Al과 Si의 피크는 상대적으로 거의 변화가 없으나 Pb 이온의 농도는 고온으로 갈수록 크게 감소하고 있어 Pb 이온이 주위의 다른 상으로 확산되고 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 어두운 영역으로 나타나는 결정상 영역은 유리상으로부터 결정화되거나(Fig. 5(a)) 혹은 알루미나 결정립과 유리상의 반응으로 생성되는(Fig. 5(b)) anorthite계이다. EDX분석 시 Al_2O_3 결정립이 유리상으로부터 완벽하게 분리되어 나타나지 않기 때문에 Fig. 5(b)는 Al_2O_3 결정립의 분석스펙트럼에서 유리상 성분이 검출되었다고 볼 수도 있으나 Fig. 4의 유리상 분석 스펙트럼과 비교할 때 Na, K 등이 나타나지

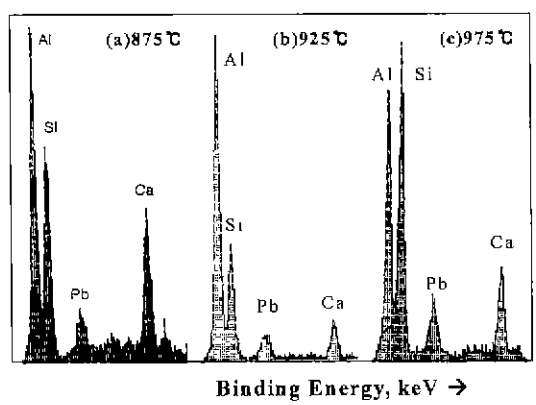


Fig. 5. EDX spectra of crystalline phases

않는 것으로 보아 알루미나 결정립이 핵으로 작용하여 anorthite계 결정이 생성된 것으로 사료된다. 이와 같이 유리상이 결정화된 상들은 그 생성원 혹은 알루미나 결정립/anorthite 분포에 따라 Ca 이온의 스펙트럼 강도는 다소 차이가 있으나, 975℃로 소결온도가 높아짐에 따라 Fig. 5(c)에서 보듯이 Al이 감소하는 대신 Si가 크게 증가하고 있으며 Ca도 감소하고 있다. 이는 Al_2O_3 결정립이 유리상으로 용해됨으로써 결정상이 유리화되고 있음을 시사하고 있으며 Fig. 2의 XRD분석에서 anorthite와 Al_2O_3 피크의 강도가 감소하고 있는 것으로부터도 확인할 수 있다.

위와 같은 소결온도에 따른 Ag 이온 농도분석 및 기질의 조성분석을 종합하면 다음과 같은 결론을 이끌 수 있다: 첫째, 결정상은 유리상으로부터 또는 알루미나 결정립을 핵으로 하여 anorthite계 결정생성이 이루어지며, 비교적 저온의 소결온도에서 Ag 이온은 이들 결정상이 아닌 수식이온을 함유한 유리질상을 통하여 확산되고 있다. 둘째로, 소결온도가 높아짐에 따라 유리상의 점도가 낮아지고 충진제로 첨가된 알루미나가 유리상으로 용해되어 결정상의 유리화를 촉진함으로써 이온이동도가 큰 Pb, Ag 이온의 확산을 더욱 용이하게 만드는 것으로 사료된다. 특히 Ag 전극 내부에서 Ag 이온농도는 소결온도 875℃, 925℃ 그리고 975℃에 대하여 각각 96 atomic%, 93 atomic%와 78 atomic%로써 소결온도 증가에 따라 Ag 이온농도가 감소하고 있었다. 975℃에서 소결된 시편의 경우, Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 Ag 전극 내부에서의 Ag 이온농도는 전극/기판 계면에서보다 더 낮게 나타나고 있어 Ag 이온이 유리상으로 확산할 뿐만 아니라 유리상이 Ag 전극 내부로 침투되고 있음을 보이고 있다. 은의 융점이 961℃인 점과 유리상의 결정화가 930℃인 것을 고려한다면,[4] 이러한 유리상과 Ag 이온의 동시확산은 Ag 전극 및 유리상의 급격한 점도 강하와 앞서 언급한 결정상의 유리화에 기인한 유동성의 증가때문으로 사료된다.

기질 및 Ag 전극의 점성거동을 자세히 살펴보기 위해 소결온도에 따른 Ag 전극계면의 변화를 관찰하였다. 825℃의 저온에서 소결되었을 경우(Fig. 6(a)), 전극라인이 기질상으로 돌출되는 부분이 많이 발견되나 온도가 올라갈수록 이러한 돌출부분이 보다 완만한 형태로 변하고 있다(Fig. 6(b)). 그러나 925℃ 이상에서는 Ag의 기질로의 확산 및 기질의 전극내 침입으로 전극라인의 심한 굴곡 또는 단절현상을 나타내고 있으며(Fig. 6(c)), 975℃의 경우 넓은 범위에 걸쳐 Ag 전극이 사라지는 현상까지 보였다(Fig. 6(d)). 825℃에서 소결된 시편의 Ag 전극을 보면(Fig. 7), 낮은 소결온도에 기인하여 Ag 전극이 치밀하지 못하고 많은 공극을 내포하고 있으며, 글라스세라믹 기판과도 분리되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 소결온도의 증가에 따라 Fig. 7과 같은 치밀하지 못한 Ag 전극에서 액상소결이 진행되어 전극라인이 완만한 형태를 가지며, 또한 전극내부의 미소공극들이 제거됨으로써 Fig. 8과 같이 전극두께를 감소시키는 효과를 나타낸다. 875℃에서 전극두께가 최소값을 보이는 것으로부터 이러한 Ag 전극의 치밀화는 약 875℃까지 진행되고 있음을 알 수 있다.

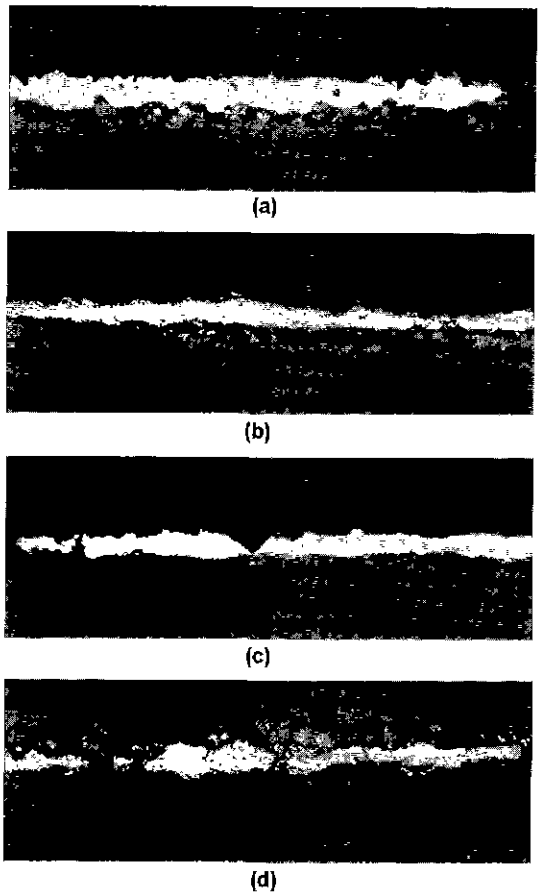


Fig. 6. Morphology of the silver electrode-substrate interface : (a) 825℃, (b) 875℃. (c) 925℃ and (d) 975℃ (black bar=10 μm).

그러나 900℃ 이상에서는 유리상의 점도가 급격히 낮아지고 결정상의 유리화가 동시에 진행되기 시작함으로써 Ag 전극 내부 공극으로 유리상의 침투가 일어나며, 또한 Ag 전극이 용융되기 시작함으로써 Ag 이온의 확산이 활발해지고 동시에 큰 내부공극이 존재하는 지점의 비교적 얇은 전극라인은 Ag 전극과 유리상의 높은 유동성으로 인해 쉽게 단절됨으로써 유리상이 공극을 차지하게 된다(Fig. 6(c)). 이러한 유리상의 내부전극으로의 침투 및

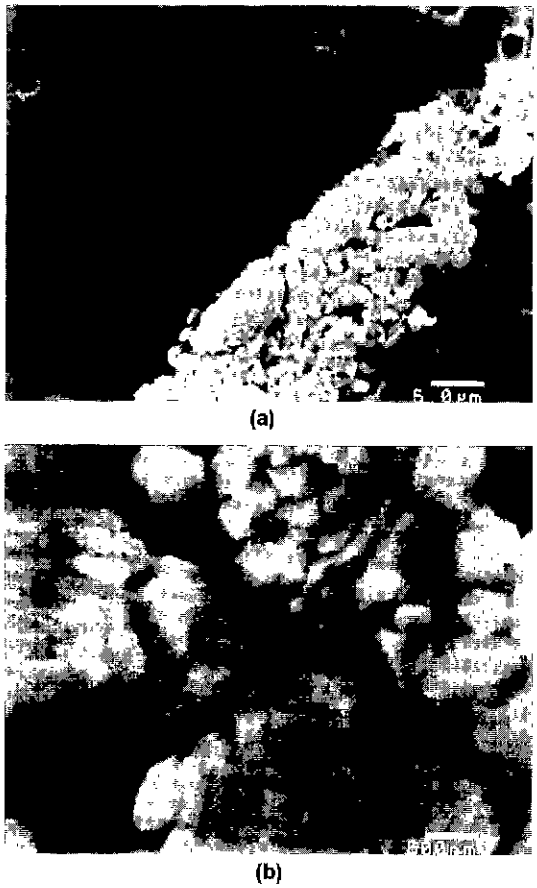


Fig. 7. SEM images of the Ag electrode sintered at 825°C : (a) the interface of substrate-silver and (b) silver electrode.

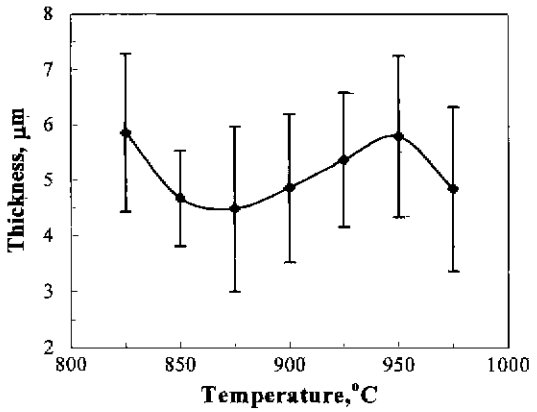
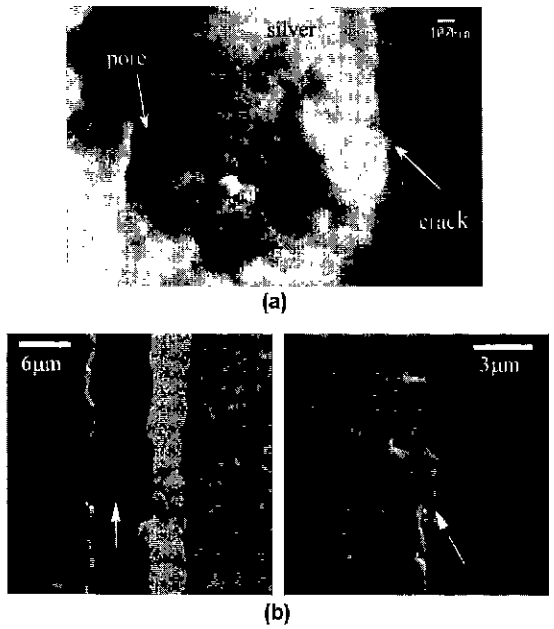


Fig. 8. Variation of electrode thickness with sintering temperature.

Ag 전극의 유동성 증가는 Fig. 8에서 보듯이 전극두께의 증가를 가져오며 975°C의 높은 소결온도에서는 Ag 전극



Fig, 9. FEM(a) and SEM(b,c) images showing pores and microcracks at the interface of the glass ceramic substrate and silver electrode.

의 용융 및 활발한 확산으로 인해 전극라인 심하게 왜곡되는 현상을 보이고 있다(Fig. 6-(d)).

Fig. 9(a)는 글라스세라믹 기판-Ag 전극 계면에 발생한 미소크랙을 나타낸 것으로서, 이러한 미소크랙은 주로 융착되어 있던 금속과 기판이 냉각과정 중 열팽창차이로 인한 응력의 발생으로 생성되는 것으로 사료된다. 순수한 Ag금속의 선형열팽창계수는 약 19×10^{-6} °C^{-1}로서 글라스세라믹 기판의 평균 선형열팽창계수(15°C-1000°C) 5.6×10^{-6} °C^{-1}와 큰 차이를 나타내었다. 특히 Fig. 10의 930°C

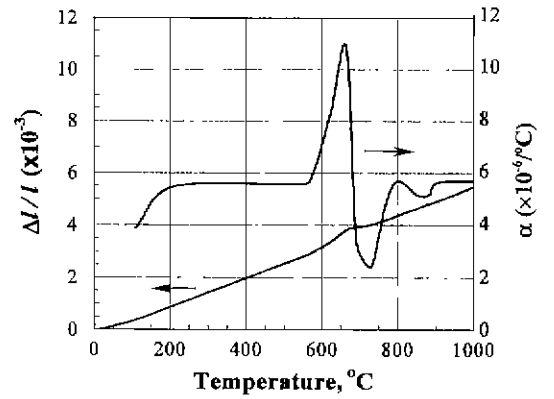


Fig. 10. Thermal expansion of the glass ceramic sintered at 930°C for 30 min.

에서 30분간 소결된 시편의 열팽창계수 변화를 보면 600℃-800℃ 사이에서 큰 변화를 보이고 있는데, 이는 유리전이에 기인한 것으로 이러한 비정상적인 열팽창계수의 변화가 냉각 중 Fig. 9(b)에 보이는 것과 같이 대단히 큰 계면상의 전극과 기질간의 분리현상을 유발하는 것으로 사료된다. 이와 같은 계면상의 미소크랙이나 분리현상은 소자의 전기적 특성의 저하뿐만 아니라 기계적 특성에 악영향을 야기하므로, 소결 후 유리의 결정화로 조성이 바뀌어진 유리질상의 열팽창계수를 고려하여 출발 유리조성을 설계할 필요가 있으며 또한 소결 후 냉각과정의 세밀한 제어도 요구된다.

4. 결 론

저온동시소성계인 글라스세라믹/Ag 전극의 소결에 따른 Ag 이온 확산 및 계면거동을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Ag 이온의 확산은 주로 기질의 유리상을 통하여 이루어 지고 있었으나, 약 875℃ 이하에서는 Ag 이온 확산이 크게 일어나지 않고 전극의 치밀화가 진행되었다.

2) 900℃ 이상에서는 소결온도 증가에 비례하여 기질상에서 Ag 이온 확산이 더욱 활발하였으며, 유리상의 유동성 증가에 기인하여 유리상의 전극내부로의 침투가 크게 증가되었다. 특히 950℃ 이상의 고온에서 결정상이 유리화됨으로써 Ag 이온 확산을 촉진시켜 전극의 단절과 같은 심한 왜곡현상이 야기하였다.

3) 소결 후 냉각과정에서 잔류 유리상의 유리전이에 기인한 열팽창계수의 변화는 기판/전극 계면의 미소크랙 발생 및 기판/전극간 심각한 분리현상을 유발하여 출발원료 조성 및 냉각과정의 제어가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단의 Post. Doc. 연수프로그램 및 전자부품종합연구소에 의해 지원되었음.

REFERENCES

1. C. Makihara, Ikeda, H. Wada, Y. Sawa and S. Tanahashi, "Multifunctional Ceramic Substrates and Packages for Telecommunication Applications." ISHM 94 Proceedings, 243-247 (1994).
2. J. Y. Park and M. G. Allen, "High Current Integrated Microinductors and Microtransformers using Low Temperature Fabrication Processes," ISHM 96 Proceedings, 120-125 (1996)
3. W. Marsh, M. Kline, F. Kuss and D. Strack, "Three Dimensional Flip Chip Packaging in LTCC for High Density Microwave Applications," ISHM 96 Proceedings, 230-235 (1996).
4. H. Mandai, N. Nakajima and K. Tongegawa, "Advanced Ceramic Multilayer functional Packages for Telecommunications Equipment," IMC 1996 Proceedings, Omiya, April, 183-186 (1996).
5. J. R. Tyler and D.J. Gasper. "Evaluation and Characterization of Low-Temperature Cofired Ceramic Structures for Microwave Applications," ISHM 89 Proceedings, Baltimore, Maryland, 390-399 (1989).
6. R. R. Tummala, "Ceramic and Glass-Ceramic Packaging in the 1990s," *J. Am. Ceram. Soc.*, **74**(5), 895-908 (1991).
7. M.F. Bender, F.K. Patterson, E.A. Kemp and J.E. Gantzhorn, Jr., "Low Temperature Cofired Ceramic Tape System: A Cost Effective Solution for Multilayer Packaging," ISHM 88 Proceedings, 12-19 (1989).
8. T. Nishimura and S. Nakatani, "Co-Firable Copper Multilayered Ceramic Substrate," Proceeding of International Microelectronics Conference, Kobe, Japan, 249-254 (1986).
9. S. Vasudevan, "The Effect of Processing Parameters and Surface Roughness of Conductor Traces on the Microwave Properties of LTCC Structure," ISHM 96 Proceedings, 40-48 (1996).
10. T. Martin and D. Schroeder, "Reliability Analysis of LTCC MCM's Utilizing Silver Conductives," ISHM 94 Proceedings, 295-300 (1994).
11. W S. Hackenberger, T. R. Shrout, J. P Dougherty and R. F. Speyer, "Real Time Sintering Observations of LTCC Substrate and Conductor Materials," ISHM 92 Proceedings, 82-87 (1992).
12. 조남태, 심광보, 이선우, 구기덕, "고주파용 저온 동시소성 세라믹(LTCC) 칩 커플러 제조 : I. 전극형성에 대한 결합제 분해공정의 영향," 요업학회지 (1999).
13. J. I. Goldstein, A. D Romig, Jr., D. E. Newbury C. E. Lyman, P. Echlin, C. Fiori, D. C Joy and E. Lifshin, "Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis : Chap.3 Electron-Specimen Interaction," Plenum Press, 1992, New York