

다층 글라스세라믹 유전체의 결정화특성에 관한 연구

이현수 · 손명모 · 박희찬*

대구공업전문대학 요업과

*부산대학교 무기재료공학과

(1994년 6월 29일 접수)

Properties of Multilayer Glass-Ceramic Dielectrics

Heon-Soo Lee, Myung-Mo Son and Hee-Chan Park*

Dept. of Ceramics, Daegu Technical Junior College

*Dept. of Inorganic Materials Engineering, Pusan National University

(Received June 29, 1994)

요 약

다층후막회로절연체용 crossover재료로서 BaO-CaO-ZnO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃-TiO₂계 유리를 용융급냉법으로 제조하고 결정화 과정 및 그에 따른 물성변화를 시차열분석, 주사전자현미경, X-선 회절분석, 유전특성 측정등을 통하여 조사하였다. 또한, 이 계의 유리에 핵형성제로서 Y₂O₃를 2.0~6.0 wt% 첨가하였을 때의 결정화 거동의 변화를 조사하였다. Y₂O₃가 4.0~6.0 wt% 첨가된 유리는 850~900°C의 온도영역에서 준안정상인 hexacelsian의 결정석출이 억제되어 monoclinic celsian이 주결정상으로 나타나고 유전율 및 품질계수는 각각 대략 9와 1000 이상의 값을 나타내어 crossover재료로서 적합함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Crystallizable glasses with precipitation of celsian were prepared for the purpose of insulating dielectric layers for the devices such as integrated circuit substrates. Crystallization behavior of these glasses were studied by DTA, SEM, XRD analysis and by the measurement of dielectric properties. The base composition of the glass-ceramic consists in weight percent of 30% SiO₂, 10% Al₂O₃, 26% BaO, 10% CaO, 10% ZnO, 8%TiO₂ and 6% B₂O₃. 2-6 wt% Y₂O₃ were selected as the nucleating agent to promote monoclinic celsian formation. As a result, in barium-rich glasses containing 4~6 wt% Y₂O₃, monoclinic celsian was developed as major crystalline phase in the temperature range of 850~900°C. Also, the dielectric constant and quality factor of these glass-ceramics were about 9 and more than 1000, respectively.

1. 서 론

전자기기의 성능을 향상시키기 위해서는 반도체 소자, 수동 부품등의 회로실장 밀도를 높이는 것이 중요하다. 이런 이유로 최근에는 다층배선기판 위에 소자를 Chip의 상태로 여러개를 직접 탑재시키는 multichip 실장법(multichip module)이 효과적 수단으로 채택되고 전자회로의 module화, unit화가 이루어지고 있다^{1,2}. 이와 같은 구조에 있어서는 배선에 의해 점유되는 기판의 면적을 최소화하기 위해 배선을 다층화하고 배선간의 교차점(crossover points)사이에 절연성 유전체를 스크린 인쇄

하는 것이 많은 장점을 지닌다³⁻⁵.

유전체 절연막으로 사용되는 재료는 1) 소성을 반복 하여도 상층 인쇄도체와의 분리가 유지될 것, 2) 도체 사이의 cross talk에 대해서 낮은 유전상수를 가져야 하며, 높은 Q(quality factor)값, 높은 절연저항을 가질 것, 3) 내습성이 우수하고 알루미늄 기판과 열팽창계수가 일치할 것, 4) 850~900°C에서 Ag paste와 동시 소결이 가능할 것, 5) pattern의 정도가 좋고 표면이 평활할 것, 6) pin-hole 함유 경향이 낮을 것, 7) 열처리시에 낮은 glass함량을 보일 것, 8) 열충격저항이 클 것 등의 조건을 만족시켜야 한다⁶⁻⁹. 장식계의 결정을 가지는 자유전상

수의 결정화유리는 *pin-hole property*가 좋고 다층으로의 적층이 용이하며 저온에서 다층동시소결이 가능하므로 L.C. Hoffman¹⁵⁾, K.M. Nair⁴⁾ 등에 의하여 *celsian* 결정계의 부분결정화 유리가 연구개발되어 *crossover* 절연체로서 사용되어지고 있다. 그러나 *celsian*계 결정화유리는 상전이 과정이 명확히 밝혀지지 않았지만 *celsian* 상은 고온상인 *hexagonal celsian*(*hexacelsian*)과 저온상인 *monoclinic celsian*의 두 동질상이 존재하는 것으로 알려져 있다⁶⁻¹¹⁾. *hexacelsian*과 *monoclinic celsian*의 전이는 1590°C에서 아주 느리게 일어나고 1590°C 이하에서 *hexacelsian*이 불안정한 상태이지만 준안정상으로 존재하는 경향이 아주 강하고 준안정상인 *hexacelsian*이 300°C 부근까지 냉각되면 체적변화를 수반하는 *orthorhombic* 상으로의 가역적 상전이를 일으키므로^{6-9,11)} 이로 인하여 사용에 많은 제한을 받는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 *celsian*이 석출될 수 있는 BaO-CaO-ZnO-Al₂O₃-B₂O₃-TiO₂-SiO₂계 유리 조성을 개발하고, 핵형성계의 첨가등을 통하여 850~900°C의 온도영역에서 안정상인 *monoclinic celsian*을 주결정상으로 석출시킴으로써 *crossover* 용으로 적합한 결정화유리를 제조하고자 하였다. 또한, 결정화영역, 첨가제 효과, 열처리에 따른 결정화거동을 조사하고 전기적 특성등을 비교분석하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 조성의 선정 및 frit 제조

기존의 문헌조사 및 예비실험을 통하여 *celsian* 결정을 석출시킬 것으로 예상되는 범위의 조성을 선택하여 기본조성으로 하였다. 이 조성에 대하여 결정화열처리를 행한 후 상분석을 행한 결과 *celsian* 단일 결정상이 석출되었으나 그 결정상은 준안정상인 *hexacelsian*이 주결정을 이루었다. *hexacelsian*은 가열냉각하는 과정에 약 300°C 부근에서 체적변화를 수반하는 상전이가 일어난다. 따라서 기본 조성에 Y₂O₃를 첨가함으로써 안정상인 *monoclinic celsian* 상의 석출여부 및 결정화거동을 조사

하고자 하였다. 각각의 조성을 Table 1에 나타내었다. 각 조성은 기본조성 S-1을 100으로 하고 Y₂O₃를 wt%로 각각 2, 4 및 6% 첨가하였다. 실험에 사용된 frit는 일반적인 *melting-quenching*법을 이용하여 제조하였다. 사용된 원료는 특급시약의 SiO₂, ZnO, BaCO₃, Al₂O₃, H₃BO₃, CaCO₃, TiO₂, Y₂O₃를 사용하였다. Table 1과 같은 조성에 따라 원료를 조합하고 균일한 조성을 얻기 위하여 ball mill에서 충분히 혼련하여 백금도가니에 담은 후 1450°C에서 균일한 용융물이 얻어질 수 있도록 2시간 이상 충분히 용융하였다. 용융된 유리는 증류수중에 급냉시킨 후 건조시켜 glass frit를 얻었다. 후막공정에 사용되는 glass powder는 325mesh를 통과시켜 사용하는 것이 적당하므로 frit를 1차 분쇄하여 얻어진 cullet을 ball mill에서 24시간 분쇄한 후 325 mesh(44 μm)체를 통과한 것을 시료로 사용하였다.

2.2. 시편의 제조

제조된 glass frit의 결정화 특성, 물성 측정 및 분석을 위하여 시료량의 1%가 되도록 PVA 1% 수용액을 frit에 첨가하고 균일혼합한 후 일축가압성형하여 disc상의 pellet을 만들고 소결시켰다. 시편은 1.5 g의 시료를 취하고 300 Kg/cm²의 압력으로 성형하여 직경 13 mm의 pellet을 만들고 8~10°C/min의 승온속도로 소정의 열처리계획에 따라 열처리를 행하였다. 열처리시 binder의 휘발을 위해 400°C에서 1시간 유지시켰다. 소성후의 시편은 불순물을 제거하기 위해 grinding과 polishing을 행하고 XRD 분석, SEM 관찰 및 유전특성 측정의 시편으로 사용하였다.

2.3. 기기분석

glass frit의 가열변화 및 결정화 거동을 조사하기 위하여 열분석을 행하였다. 열분석에 사용된 기기는 일본 Rigaku사의 TG/DTA 열분석기(모델명: R130-3-B)를 사용하고, 표준시료로서는 α-Al₂O₃를 사용하였으며 시료 70~80 mg을 pt crucible에 넣고 승온속도 10°C/min로 대기중에서 1200°C까지 가열하였다. 시편의 열팽창 특성을 측정하기 위하여서는 일본 Rigaku사의 TMA를 사

Table 1. Chemical Composition of Glass Frits

Comp. (wt%) Sample No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	BaO	ZnO	CaO	B ₂ O ₃	Y ₂ O ₃
S-1	30.0	8.0	10.0	26.0	10.0	10.0	6.0	
S-2	30.0	8.0	10.0	26.0	10.0	10.0	6.0	2.0
S-3	30.0	8.0	10.0	26.0	10.0	10.0	6.0	4.0
S-4	30.0	8.0	10.0	26.0	10.0	10.0	6.0	6.0

용하였다. 측정은 $\Phi 5 \times 20$ mm의 봉상의 시료를 열처리하고 quartz를 표준시료로 하여 측정하였다. 또한, 급냉한 frit의 비정질확인과 결정화 열처리된 시편의 결정상을 조사하기 위하여 일본 Rigaku사의 X-선 회절분석기(Rigaku D/max형)를 이용하여 X-선 회절분석을 행하였다. 시편은 각 열처리온도에서 결정화시켜 충분한 결정성장이 일어난 상태에서 측정하였다. 측정조건은 $K\beta$ 선을 Ni filter로 제거한 $CuK\alpha$ 단색선을 사용하여 40 KV, 30 mA의 조건으로 측정하였으며 측정범위는 $10 \sim 80^\circ (2\theta)$ 로 하였다. 결정화 열처리된 시편의 미세구조를 열분석 및 X-선 회절분석 결과와 비교 확인하기 위하여 열처리된 시편에 대한 전자현미경 측정을 행하였다. 사용된 기종은 일본 Jeol사의 주사전자현미경(Jeol-5400형)을 사용하였다.

2.4 유전특성 측정

제조된 glass frit의 crossover절연재료로서의 적합성을 조사하기 위하여 유전을 및 유전손실을 측정하였다. 유전특성을 조사하기 위하여 pellet형의 시편을 만들어 소결시킨 후 양면을 polishing하고 silver paste를 screen printing하여 전극을 부착하였다. 측정은 미국의 Hewlett Packard사의 LCZ meter(모델명: HP4277A)를 사용하여 정전용량 C(pF) 및 유전손실(tan δ)를 측정하였다. 측정값으로부터 유전을 및 품질계수의 환산은 $\epsilon_r = (C \cdot d) / (\epsilon_0 \cdot S)$ 및 $Q = 1 / \tan\delta$ 식을 이용하였다. 여기서, d는 전극간의 거리, ϵ_0 는 진공의 유전율, S는 전극의 면적을 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 열분석 결과

실험에 사용된 glass frit의 시차열분석곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 약간의 피크 위치이동과 intensity의 변화는 나타나지만 일반적인 경향은 유사한 특성을 나타내고 있다¹²⁾. Fig. 1에서 T_g는 유리전이온도로 선행창에서 급격한 팽창이 나타나는 변곡점으로 고체유리가 viscous liquid로 전이하기 시작하는 온도이고, T_d는 변형이 시작되는 deformation point이며, T_s는 10^{16} poise에 해당하는 연화온도, T_{cs}는 결정화 시작온도, T_{c1}은 첫번째 결정화피크온도, T_{c2}는 두번째 결정화피크온도를 표시한 다^{15,16)}.

각 시료는 공히 830~840°C에서 준안정상인 hexagonal상의 celsian(hexacelsian) 및 안정상인 monoclinic celsian의 형성에 기인하는 것으로 판단되는 첫번째 결정화피크와 hexacelsian이 monoclinic celsian으로의 전이

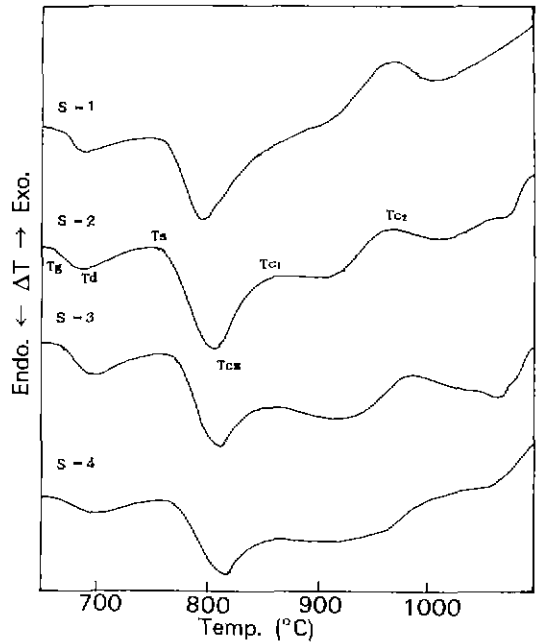


Fig. 1. DTA curves of glass frits.

에 의한 950~1000°C 온도영역의 두번째 결정화피크를 나타내는 2단계의 결정화 거동을 일으키는 것을 알 수 있다. 일반적으로 유리로부터 형성되는 알카리토류 장석은 준안정상(hexagonal, orthorhombic)이 안정상보다 더 쉽게 핵생성이 일어나는 것으로 알려져 있다⁵⁻¹²⁾. 또한 각 시료의 열분석곡선에서 첫번째 결정화피크가 크고 broad한데 이것은 결정화범위가 넓음을 나타내고 충분한 결정화를 위해서는 결정화 온도에서의 유지시간이 장시간 요구됨을 뜻한다¹²⁾. Y₂O₃가 첨가되지 않은 S-1시료의 경우 첫번째 결정화 피크가 Y₂O₃가 첨가된 S-2, S-3 및 S-4시료의 경우보다 크게 나타나고 Y₂O₃의 첨가량이 많아질수록 작아진다. 즉, Y₂O₃의 첨가량이 증가할수록 hexacelsian의 증가량은 적어지고 이로 인하여 hexacelsian이 monoclinic celsian으로 전이하는 것에 기인하는 두번째 결정화피크도 작아지는 결과를 나타내고 있다. 따라서 Y₂O₃의 첨가량이 증가할수록 주결정상은 monoclinic celsian으로 나타날 것으로 예측되어진다. 이를 확인하기 위하여 X-선 회절분석을 행하였다. Table 2에 열분석곡선으로부터 얻은 각 시료의 열적특성치를 나타내었다.

Joormann 등^{13,14)}은 일반적인 후막공정에 적용되는 crossover용 glass frit는 720°C 부근에서 소성하였을 때 유동하여 치밀화되고 850~900°C 범위의 온도영역에서 결정화될 수 있어야 한다고 제시하였다. Table 2에서 알

Table 2. Characteristic Points for DTA Curves of Various Glass Frits

Sample No.	T _d	T _{cs}	T _{C1}	T _{C2}
S-1	687	804	837	945
S-2	687	801	836	958
S-3	690	804	841	976
S-4	697	811	843	976

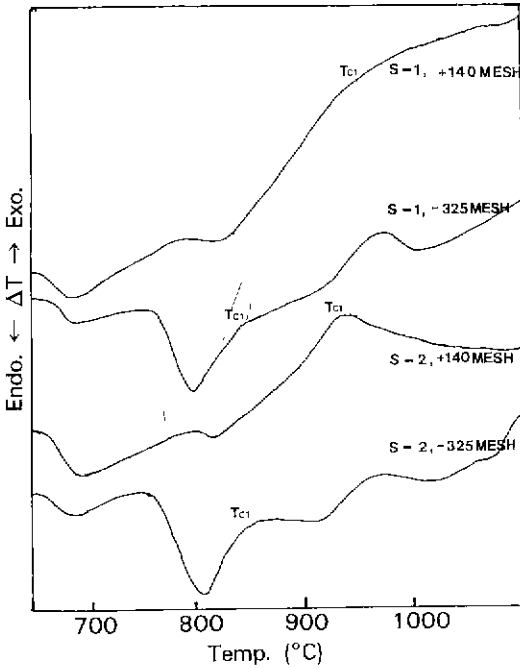


Fig. 2. The effect of particle size on the DTA peak temperature.

수 있는 바와 같이 각 시료는 690~750°C의 온도범위에서 유동하여 치밀화되고 약 800°C 부근에서 핵형성되어 840°C 부근에서 결정화될 수 있으리라 판단되어 crossover용 유리로 적합함을 알 수 있다. 또한 실험에 사용된 시료의 열팽창 특성이 crossover재료로서의 적합성을 판단하기 위하여 TMA를 이용하여 측정된 열팽창율은 Y₂O₃가 4% 첨가된 S-3시료를 880°C에서 30분 동안 열처리한 시편의 경우 $6.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로서 crossover재료의 물성범위내에 있음을 알 수 있었다. 이상의 결과들을 확인하기 위하여 각 시료를 결정화 온도영역에서 열처리하고 XRD 분석, 전자현미경분석 등으로 결정상을 확인하였다.

3.2. 입자크기의 영향

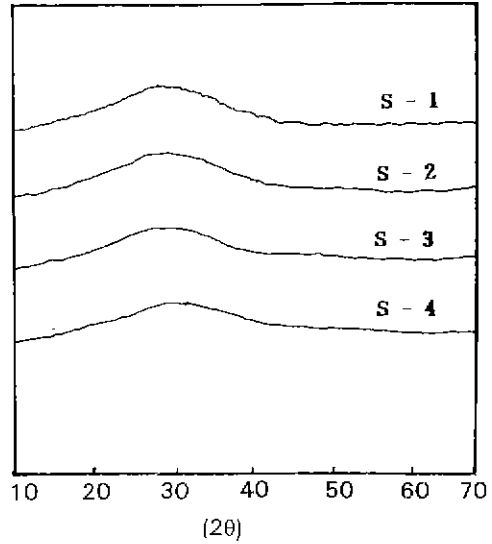


Fig. 3. X-ray diffraction patterns for quenched frit glasses.

crossover용 glass frit의 경우 열처리과정에서의 결정화과정은 중요하다. 즉, 도체가 열처리과정 동안에 crossover층내로 함몰 또는 유동하는 것을 막기 위해서는 glass frit의 일부가 입자의 표면에서 신속히 핵형성되어 결정화되어야 한다. 일반적으로 장석계 결정은 표면 결정화하는 것으로 알려져 있고^{2,8,12)} 입자 표면에서의 보다 신속한 핵형성 및 결정화를 위하여 미세한 입자로 paste를 만드는 것이 일반적이다. 본 연구에 사용된 frit powder의 표면 결정화 여부를 판단하기 위하여 frit를 입도분리하여 +140 mesh의 시료와 -325 mesh의 시료에 대하여 열분석시험을 행하고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. S-2시료의 경우 +140 mesh의 시료와 -325 mesh의 시료에서 T_d점은 변화를 나타내지않으나 결정화시작온도 및 결정화피크온도는 상당히 큰 차이를 나타냄을 알 수 있다.

이는 입자표면에서 결정화가 시작되어 내부로 전달되는 표면결정화의 경우 결정화온도는 큰 차이를 나타내고 입자표면에서의 반응이 결정화에 지배적 영향을 나타낸다는 Bansal 등⁸⁾의 결과와 비교해 볼 때 미세한 입자의 시료가 보다 큰 표면적을 가지며 큰 표면적으로 인하여 결정의 형성 및 성장이 용이하게 되는 표면결정화가 지배적인 것으로 판단된다.

3.3. X-선 회절분석 결과

각 시편의 결정화거동 및 결정상을 확인하기 위하여

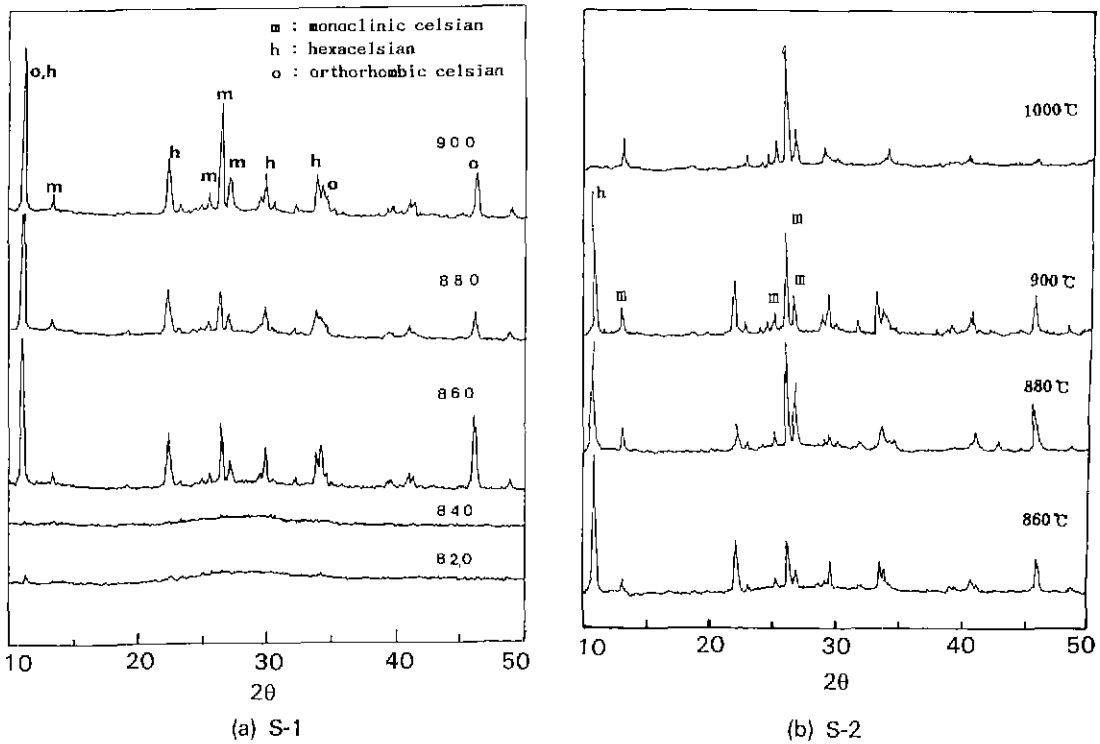


Fig. 4. X-ray diffraction patterns for (a) S-1 and (b) S-2 samples fired at different temperatures.

급냉된 glass frit에 대해서 X-선 회절분석을 행한 결과 Fig. 3과 같이 모두 비정질임을 확인하였다. 그리고, Fig. 4에 S-1과 S-2 시편에 대한 각 열처리온도에서의 X-선 회절분석 결과를 도시하였다.

Y_2O_3 가 첨가되지 않은 S-1시편(Fig. 4a) 및 2% 첨가된 S-2시편의 경우(Fig. 4b), 840°C까지는 비정질상태로 나타나지만 계속 가열되어 860°C에 이르면 준안정상인 hexacelsian과 안정한 monoclinic celsian이 공존하여 생성된다. 준안정상인 hexacelsian은 냉각하는 과정에 일부 orthorhombic상으로 가역전이하여 X-선 회절 pattern은 hexacelsian, orthorhombic, monoclinic celsian상이 공존하고 있음을 알 수 있다. 열처리온도가 계속 상승함에 따라 hexacelsian 및 orthorhombic상은 점차 감소하고 상대적으로 monoclinic상은 점차 증가하여 Fig. 4(b)의 S-2시편의 경우 1000°C에서는 monoclinic단일상으로 나타났다. 이는 열분석 실험에서 예측한 결과와 일치한다. 일반적으로 RO- Al_2O_3 - SiO_2 계 유리로부터 핵형성 및 결정성장하는 알칼리토류 장석의 경우 hexagonal 또는 orthorhombic상과 같은 준안정상태가 monoclinic이나 triclinic상등의 안정한 상태보다 용이하게 유리로부터 핵형성하는 것으로 보고되어 있다^{6-9,11)}. 이와 같은 이유는 각

상의 구조적 차이로 인하여 보다 높은 대칭성을 가지는 구조가 더 낮은 핵형성에너지를 가지기 때문이다. 즉, hexagonal form은 mica구조와 비슷하게 사면체의 판상 구조와 R^- 양이온의 층이 c축에 수직인 방향으로 교대로 적층되어 있는 구조이고 mica와의 차이는 판상구조가 두개의 층으로 이루어져 있다는 점이다. 반면에 monoclinic form은 Al과 Si가 부분적으로 규칙성을 가지는 특별한 분포의 3차원망목으로 이루어져 대칭성이 낮은 구조이다.

Y_2O_3 가 4% 및 6% 첨가된 시편의 X-선 회절분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이 Y_2O_3 가 4% 이상 첨가된 경우 860°C에서 준안정상인 hexacelsian과 안정상인 monoclinic celsian이 공존하고 있으나 hexacelsian의 결정석출은 상당히 억제되어 monoclinic celsian이 주결정상을 이루고 있음을 알 수 있다. 열처리온도가 상승함에 따라 hexacelsian의 피크는 점차 감소하여 900°C에 이르면 거의 monoclinic단일상으로 나타나고, 1000°C에서는 monoclinic상만이 존재하고 있다. 이러한 이유는 핵형성제와 핵형성된 결정의 결정학적 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 불균일 핵형성이 있어서 핵형성제와 핵형성된 결정의 격자상수의 유사성

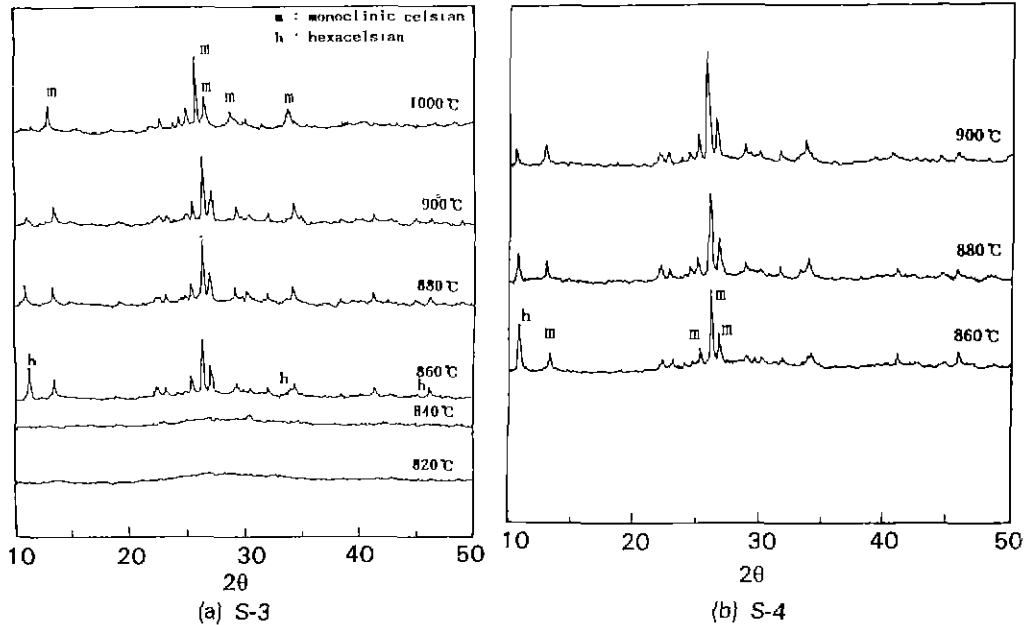


Fig. 5. X-ray diffraction patterns for (a) S-3 and (b) S-4 samples fired at different temperatures.

Table 3. Lattice Parameters of Nucleating Agent and Nucleated Crystals

	Monoclinic celsian	Y ₂ O ₃	Hexacelsian
Lattice Parameter (Å)	a= 8.63 b= 13.10 c= 7.29 β= 116	a=10.6	a=5.25 c=7.84

은 핵형성제의 효율을 결정하는데 중요한 요인이다^{8,9,11,12}).

Table 3에 나타낸 바와 같이 Y₂O₃의 격자상수는 hexacelsian의 격자상수보다는 monoclinic celsian의 격자상수와 유사하고, 따라서 Y₂O₃가 첨가된 시편의 경우 hexacelsian의 핵형성보다는 monoclinic celsian의 핵형성이 촉진되기 때문인 것으로 판단된다.

3.4. 전자현미경 및 유전특성 분석

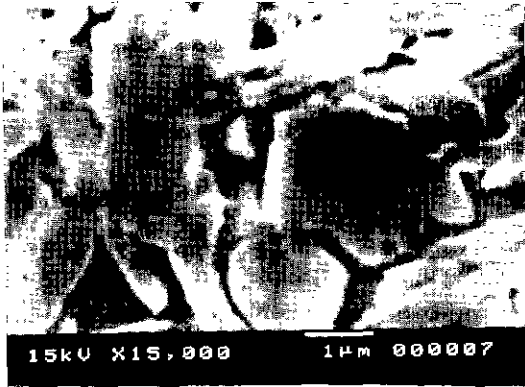
열분석 및 X-선 회절분석으로부터 나타난 결과를 비교분석하기 위하여 각 시편에 대하여 전자현미경 측정을 행하였다. Fig. 6은 S-2시편을 각 소성온도별로 SEM 관찰을 행한 결과이다. 860°C에서 hexacelsian의 판상결정이 나타나고 있음을 알 수 있다. 900°C에서는 hexacelsian의 일부가 monoclinic celsian으로 상전이하고 1000°C 영역에서 monoclinic celsian의 특성적인 형태가 나

Table 4. Dielectric Properties of S-3 and S-4

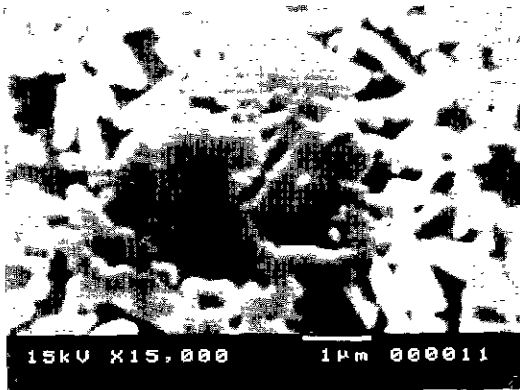
Sample No.	Heat-treatment temp. (°C)	Dielectric const. (at 1 MHz)	Quality factor (at 1 MHz)
S-3	840	9.28	>1000
	860	9.32	
	880	9.26	
	900	9.19	
S-4	840	9.31	
	860	9.28	
	880	9.27	
	900	9.23	

타나고 있음을 알 수 있다.

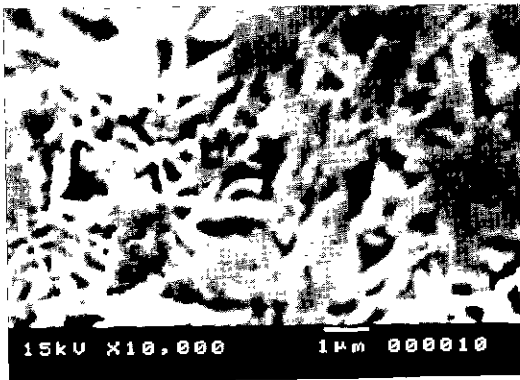
이상의 열분석결과와 이를 기초로 각각의 조건에서 절정화 열처리한 시편의 절정상 분석의 결과 기존의 후막공정 조건하에서 crossover 절연재료로 사용되어질 수 있을 것으로 기대되어지는 S-3 및 S-4시편에 대하여 유전특성을 조사하였다. 측정은 Hewlett Packard사의 LCZ meter(4277A)를 이용하여 정전용량 C(pF) 및 유전손실(tanδ)를 측정하고 $\epsilon_r = (C/\epsilon_0) \cdot (d/S)$ 및 $Q = 1/\tan\delta$ 식을 이용하여 유전율 및 품질계수(Q)를 계산하였다. 측정주파수는 계면분극 또는 공간전하분극이 전계의 방향에 따라 나타나지 않는 주파수인 1 MHz에서 측정하고



(a) Fired, 840°C



(b) Fired, 900°C



(c) Fired, 1000°C

Fig. 6. SEM photomicrographs for S-2 samples.

그 결과를 Table 4에 나타내었다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이 유전율은 9 정도의 값을 나타내고 Q값은 1000 이상으로 crossover재료로서 사용되어질 수 있는 범위의 값을 나타내었다.

4. 결 론

후막다층회로 절연용 crossover재료로서 BaO-CaO-ZnO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃-TiO₂계 glass-ceramic을 제조하고 결정화과정 및 물성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SiO₂ 30.0 wt%, Al₂O₃ 10.0 wt%, BaO 26.0 wt%, ZnO 10.0 wt%, CaO 10.0 wt%, B₂O₃ 6.0 wt%, TiO₂ 8.0 wt% 조성의 유리를 결정화열처리함으로써 후막공정 조건인 850~900°C의 온도범위에서 celsian결정이 석출되는 표면결정화 유리를 얻을 수 있었다.

2. 결정화 과정은 830~840°C 범위에서의 hexacelsian 및 monoclinic celsian결정의 형성과 950~1000°C 영역에서의 hexacelsian이 monoclinic celsian으로의 상전이 과정으로 2단계 반응임을 알 수 있었다.

3. 핵형성제로서 Y₂O₃를 4% 이상 첨가함으로써 hexacelsian결정의 생성을 억제하여 850~900°C의 온도범위에서 monoclinic celsian이 주결정으로 형성되었다.

4. monoclinic celsian이 주결정으로 나타나는 시편을 850~900°C에서 열처리한 결과 유전율은 약 9 정도의 값을 나타내고 품질계수 Q는 1000 이상으로 crossover용 결정화유리로 적합하였다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 교육부 신소재분야 연구지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Lewis C. Hoffman, "An Overview of Thick Film Hybrid Materials," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **63**(4), 572-576 (1989).
2. Greg Geiger, "Glass in Electronic Packaging Application," *Am Ceram. Soc. Bull.*, **69**(7), 1131-1136 (1990).
3. R.B. Amin, U.S. Pat., 3,785,837 (1974)
4. Kumaran M. Nair, U.S. Pat., 4,820,661 (1989).
5. L.C. Hoffman, "Crystallizable Dielectrics in Multilayer Structure for Hybrid Microcircuits: A Review," *Advances in Ceramics*, Vol. 26, 249-254 (1989).
6. R.E. Newham and Helen D. Megaw, "The Crystal Structure of Celsian (Barium Feldspar)," *Acta Cryst.*, **13**, 303-312 (1960).
7. Bumpei Yoshiki and Kuniharu Matsumoto, "High Temperature Modification of Barium Feldspar," *J. Am.*

- Ceram. Soc.*, **34**(9), 283-286 (1951).
8. Narottam P. Bansal and Mark J. Hyatt, "Crystallisation Kinetics of BaO-Al₂O₃-SiO₂ Glasses," *J Mater. Res.*, **4**(5), 1257-1265 (1989).
 9. J.S. Moya Corral and A. Garcia Verduch, "The Solid Solution of Silica in Celsian," *Trans. J. Brit. Ceram. Soc.*, **77**(2), 40-44 (1978).
 10. C.H. Drummond, III and N.P. Bansal, "Crystallisation and Properties of BaO·Al₂O₃·2SiO₂ Glass Matrices," *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, **11**(7-8), 1072-1086 (1990).
 11. D. Bahat, "Kinetic Study on the Hexacelsian-Celsian Phase Transformation," *J. Mater. Sci.*, **5**(9), 805-810 (1970).
 12. A.W.A. El-Shennawi, A.A. Omar and G.A. Khater, "The Crystallisation of Celsian Polymorphs in Some Alkaline Earth Aluminosilicate Glasses," *Glass Tech.*, **32**(4), 131-137 (1991).
 13. T. Nakayama and L.C. Hoffman, "Performance data on Thick-film Crossovers," *Ceramic Age*, No. 3, 34-36 (1968).
 14. Hendrik J.M. Joormann and Alois J.M. Van Gorp, U.S. Pat. 4,609,582 (1986).
 15. 鈴木由郎, 接着, 封着 又は 皮覆用 カラズ, 日特 昭 48-10925 (1973).
 16. Yutaka Misawa, "Properties of ZnO-B₂O₃-SiO₂ Glass for Surface Passivation," *J. Electrochem. Soc.*, **131**(8), 1862-1870 (1984).