

LTCC 기술을 이용한 MEMS 소자 진공 패키징

Vacuum packaging of MEMS (Microelectromechanical System) devices using LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) technology

전종인, 최혜정, 김광성, 이영범, 김무영, 임채임, 황건탁, 문제도
오리온전기 L-project team

최원재, 김희수, 최용원
대우전자 TMA 사업부

Abstract

현재의 광통신, 이동통신 및 디지털 시대에서는 보다 소형화되고, 대용량의 데이터 저장 및 다기능 소자에 대한 요구가 많아지고 있다. 이러한 전자 산업 환경에서 MEMS 소자는 여러 요구조건을 만족시킬 수 있는 특징을 갖추고 있으며 실제 소자의 제작에 있어서 MEMS 소자를 이용하여 여러 물리 및 화학 센서 및 Actuator 제작에 응용이 되어지고 있고 Optical switch, Gyroscope, 적외선 어레이 센서, 가속도 센서, 위치 센서 등 여러 분야에서 실용화가 진행되어지고 있다. MEMS 구조물의 packaging 방법에 있어서는 내부 MEMS 소자의 동작을 위한 외부 환경으로부터의 보호를 위하여 Hermetic sealing에 대한 요구를 만족시켜야 한다. 본 발표에서는 이와 같은 MEMS device의 진공 패키징을 구현함에 있어서 기판 내부에 수동소자를 실장할 수 있는 LTCC 기술을 이용하여 진공 패키징하는 방법에 대하여 소개한다. 본 기술을 이용하는 경우 기존의 Hermetic sealing 이외에 향후 적층 기판 내부에 수동소자를 내장시켜 배선 길이 및 노이즈 성분을 감소시켜 더욱 전기적 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있게된다. 본 논문에서는 LTCC 기판을 이용하여 패키징 시킨 후, 내부 진공도에 영향을 줄 수 있는 계면들에서의 시간에 따른 진공도 변화의 특성치를 측정하여 LTCC 기판의 Hermetic sealing 특성에 관하여 조사하였다.

1. Introduction

현재의 정보화 시대에서 요구되는 전자기기의 특징인 소형화, 다기능화, 높은 정보처리 용량 (Wide Bandwidth), 집적화들을 실현하기 위하여 반도체 제조공정에서 배선펙을 줄이는 연구 및 SOC (System on a chip)이라는 기술에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 반도체 메모리 분야, 디지털 및 아날로그 신호처리 분야 뿐 아니라 여러 센서 및 Actuator 제작에 있어서도 보다 소형화되고 여러 기능을 수행하며 보다 집적화된 소자에 대한 제작 요구가 커지고 있으며 그 제작 방법에 있어서도 유체 센서, 온도 센서, 가스 센서 등 기존의 후막 공정을 이용한 센서 뿐 아니라 가속도 센서, 위치 센서들의 물리 센서, 여러 Actuator 및 디스플레이 소자중의 하나인 TMA (Thin-film Mirror Array), DMD™(Digital Micromirror Device)^[1] 등의 제작에 박막 기술 및 MEMS 기술들이 이용되어지고 있다. 이러한 MEMS 소자들의 패키징은 기본적으로 Hermetic sealing이 이루어져야하며 주로 메탈 패키징 방법이나 정전 접합 (Electrostatic Bonding) 방법들이 사용되어지고 있다. 가속도 센서 패키지에 사용되는 정전 접합의 경우^[2, 3, 4] 잔류응력을 최소화시키기 위하여 실리콘 기판과 열팽창이 비슷한 유리 기판을 사용하여 접합이 이루어지고 있으며 열팽창 계수가 다른 경우 이를 최소화시키는 시도도 연구되어지고 있다. MEMS 구조물 가운데 Gyroscope, image sensor 등의 진공 패키징을 요구하는 소자의 패키징 경우는 일반적으로 메탈 패키징 방법이 사용되고 있으나, 최근 패키징된 상태에서의 전기적 특성

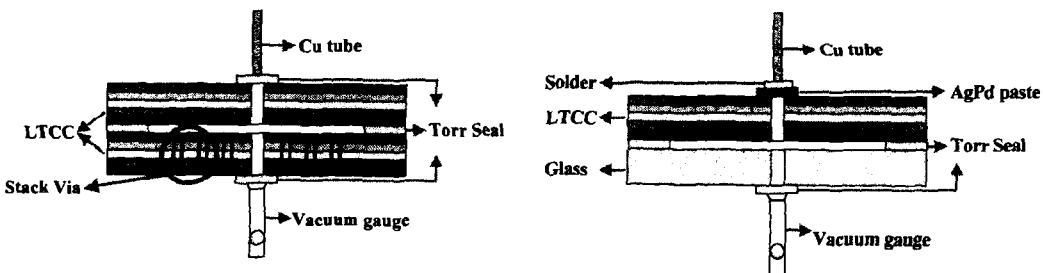
향상시키고 보다 그 크기를 작게 만들기 위한 노력이 진행 중에 있다. 이와같은 시도의 하나로 본 연구팀에서는 LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic)을 이용한 기판 제작을 시도하였는데, LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) 기술은 다층소성 글라스-세라믹 기판으로 소성시 적층 내부에 수동소자 R, L, C의 수동소자를 내장시켜 동시에 소성 시킴으로써 회로의 집적도를 더욱 높일 수 있으며 수동소자의 외부회로와의 soldering을 통한 접속시 배선길이의 증가에 따른 전기적 특성의 저하와 solder point에서 야기되는 노이즈 발생 및 흡수의 효과 및 신뢰성의 문제들을 줄일 수 있는 특징을 가지고 있다.

그러나 이 LTCC 기판이 MEMS 소자의 진공 패키징 방법으로 사용되어지는 경우 내부의 진공도 유지를 위하여 그 진공도에 영향을 주는 인자에 관하여 검토가 필요하다. 즉 재료 자체의 out gassing rate의 특성 평가 뿐 아니라, 그 특성에 따른 배기 조건의 결정과 적층 기판에 존재하는 여러 계면의 Leak path로서의 작용 가능성에 관한 검토와 이에대한 조성설계가 요구되어진다. 본 논문에서는 LTCC 적층기판을 사용하는 경우 여러 계면에서의 leakage 발생 여부에 관한 가능성에 대하여 각각의 계면에 대한 시간에 따른 진공도 변화를 측정하여 LTCC 적층 기판의 진공 패키징 적용에 대하여 평가한다.

Experimental Procedure

상부 기판의 경우 Metal package를 이용하며 하부 기판의 경우 LTCC를 이용하여 진공 package를 실시한다. Leakage rate 측정을 위한 진공도 측정은 진공 펌프와 연결된 상태에서의 내부 사이의 진공도를 다른 측정 위치에서 측정하여 측정할 수 있으나 진공 pump의 용량에 따라 실제 leakage 여부의 판단이 어려운 경우가 발생하므로 실제 진공 배기를 실시한 후 배기관을 완전히 밀봉하여 부착된 진공 게이지를 통하여 시간에 따른 진공도 변화를 측정하였다. 진공도 측정에 사용된 구조는 두 가지 구조로 via가 stack via 형태로 연결된 경우와 배기관의 연결 부위에서 생길 수 있는 계면 구조를 갖는 LTCC 구조로 Fig. 1에 본 실험에서 측정된 구조를 도식으로 나타내었다.

시편 제작은 배기 통로에 해당하는 부분을 cavity 구조로 green sheet 상태에서 punching 하고 stacked via에 해당하는 부분에 via fill을 한 후 서로 적층 소성하여 LTCC 구조물을 형성시키고 상부는 금속 case를 사용하여 위에서 제작된 LTCC 구조물과 결합한 후 밀봉하여 시간에 따른 진공도 측정을 실시하였다.



(a) Stacked via

(b) Exhaust tube including several interfaces

Fig. 1 Schematic diagram of LTCC structure for vacuum leakage tests

Result and Discussion

Stacked via에 관한 leakage rate 측정은 Fig. 2에 표시하였다. 이 측정값으로부터 계산된 leakage

rate는 $4.1 \pm 1.11 \times 10^{-12}$ torr/sec의 값으로 계산되었다. 이와같은 배열은 via와 via 사이가 내부 전극 패턴을 통하여 연결되는 부분이 있는 경우에 비하여 더욱 쉽게 진공도 저하가 일어날 수 있는 구조를 취한 것이다. 즉, 진공 배기시에 패키징되는 부분의 내외부 사이의 진공도 차이에 의하여 LTCC 기판 자체에 휨응력이 작용하게 되고 이와같은 휨응력은 via와 LTCC Glass-ceramic 기판 사이의 계면에 작용하게 된다. 이때 이러한 휨응력에 의한 계면에서의 전단 응력에 의하여 계면이 stress를 받게되며 계면 강도가 약할 경우, 계면을 경계로 via 부분과 glass-ceramic 부분의 서로 다른 기계적 성질 등에 의하여 (Young's modulus, Fracture toughness) 계면을 통하여 미세 균열이 발생하고 이 미세 균열은 진공도 변화를 유발시키게 된다. 따라서 그 via의 조성 설계에서는 이와같은 응력 변화를 견딜 수 있는 계면을 갖고 또한 LTCC 소성시 shrinkage matching이 되어지는 조성 설계가 필요하다.

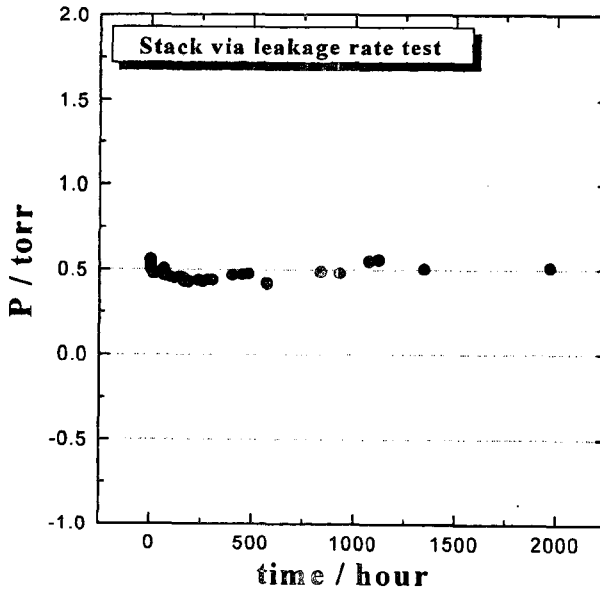


Fig. 2 Leakage rate for LTCC substrate with stacked vias

배기판이 연결되는 구조의 경우는 Fig. 1과 같이 LTCC 기판과 Ag/Pd 전극층, Ag/Pd 전극층과 solder, solder와 Cu tube의 3개의 계면이 존재한다. LTCC와 AgPd 전극 사이의 구조는 AgPd 내부의 frit glass와 LTCC 기판의 glass-ceramic 간의 결합력과 AgPd의 frit glass 및 LTCC 기판의 glass-ceramic 간의 결합력이 중요한 요소로서 작용하게된다. 특히 AgPd paste의 소성중의 산화환원 반응 중의 산소 발생에 의한 adhesion 감소나, paste 중의 binder burn-out 문제 등에 의하여 AgPd 표면 상태의 표면 거칠기가 크게 저하되는 경우, 진공 패키징 측면에서 부정적으로 작용하게 된다. AgPd와 solder 사이의 계면의 경우는 solder 부분에서의 solder leaching에 의하여 AgPd와 solder 계면이 취약해 질 수 있다. 즉 soldering 조건에 따라 solder가 완전히 AgPd 전극을 wetting하지 못하거나 solder leaching 이 soldering 사이에 발생하는 경우 그 부분의 기계적 강도가 취약해 지면서 진공도 저하를 유발시킬 수 있다. Fig. 3 에 본 실험에서 측정된 시간에 따른 진공도 변화를 나타내었다. 이 실험에서 측정된 leakage rate는 $3.4 \pm 0.33 \times 10^{-12}$ torr/sec 이다. 본 실험에서는 고온 배기를 실시하지 않고 상온 배기를 실시한 후 시간에 따른 진공도 변화를 측정 한 것으로 초기 진공도의 상승은 내부에 완전히 제거되지 않은 불순물에 의한 진공도 상승으로 사료된다.

진공도 유지 측면에서 경우에 따라서 진공도 유지를 위하여 내부에 getter를 설치하여 진공도를 증가시키거나 및 고진공도 상태로 유지시킬 수 있다.

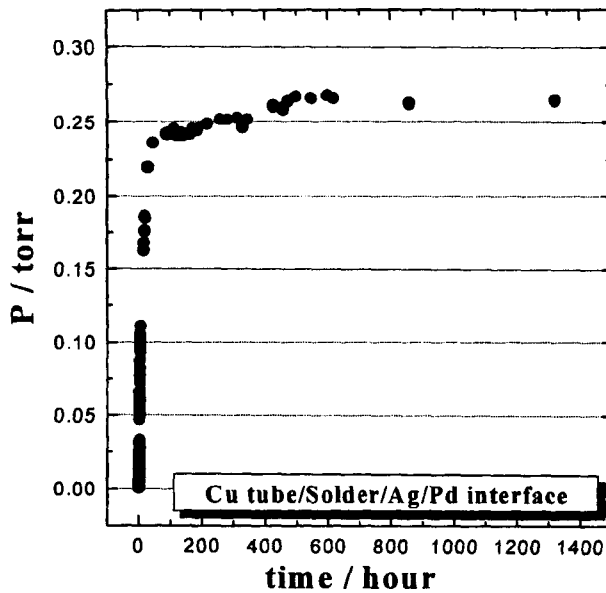


Fig. 3 Vacuum change with time of LTCC substrate

본 실험에서 측정된 바와같이 stack via를 갖는 경우나 Cu tube의 배기관 구조를 갖는 경우 모두 우수한 leakage rate를 나타내었다. 즉 본 팀에서 제조된 via 및 AgPd paste의 조성이 shrinkage matching 특성 뿐 아니라 vacuum hermetic sealing의 특성을 갖는 조성이며 다른 package 처리인 soldering 처리와 적합한 조성으로 실제 vacuum packaging이 가능하였다.

Conclusion

LTCC 구조를 이용하여 vacuum packaging의 hermetic sealing 이 가능하였다.

측정된 leakage rate는 stacked via를 갖는 구조의 경우 $4.1 \pm 1.11 \times 10^{-12}$ torr/sec의 값을 LTCC 기판/AgPd/solder/Cu의 계면을 갖는 구조의 경우 $3.4 \pm 0.33 \times 10^{-12}$ torr/sec의 값을 나타내면서 우수한 진공도 유지 특성을 나타내었다. 향후 이와같은 LTCC 구조를 이용하여 내부에 수동소자의 실장과 이에 따른 전기적 특성의 향상과 더불어 vacuum package가 요구되어지는 구조물의 vacuum package 응용이 가능하다.

References

- [1] SRI Annual report 1998
- [2] D. I. Pomerantz, U.S. Patent 3 (1968), 278,397
- [3] G. Wallis and D. I. Pomerantz, J.Appl. Phys., 40 (1969) 3946
- [4] 문제도, 최영환, 오재열, 조영래, 정효수, "잔류응력 완화용 중간 박막을 이용한 유리와 실리콘 정전 접합, 대한금속학회지, 35 (1997), 740