



Metal PCB에 있어서 양극산화법으로 제작한 Al₂O₃절연막의 방열특성

조재승^a, 김정호^a, 고상원^b, 임실묵^{b*}

^a주식회사 제이스, ^b한국산업기술대학교 신소재공학과

Heat dissipation of Al₂O₃ Insulation layer Prepared by Anodizing Process for Metal PCB

Jae-Seung Jo^a, Jeong-Ho Kim^a, Sang-Won Ko^b, Sil-Mook Lim^{b*}

^aJeis Co., Ltd Gyeonggi-do, Ansan 425-851, Korea

^bDepartment of Advanced Materials Engineering, Korea Polytechnic University, Siheung 429-793, Korea

(Received March 19, 2015 ; revised April 17, 2015 ; accepted April 20, 2015)

Abstract

High efficiency LED device is being concerned due to its high heat loss, and such heat loss will cause a shorter lifespan and lower efficiency. Since there is a demand for the materials that can release heat quickly into the external air, the organic insulating layer was required to be replaced with high thermal conductive materials such as metal or ceramics. Through anodizing the upper layer of Al, the Breakdown Voltage of 3kV was obtained by using a uniform thickness of 60 μm aluminum oxide(Al₂O₃) and was carried out to determine the optimum process conditions when thermal cracking does not occur. Two Ni layers were formed above the layer of Al₂O₃ by sputtering deposition and electroplating process, and saccharin was added for the purpose of minimizing the remain stress in electroplating process. The results presented that the 3-layer film including the Ni layer has an adhesive force of 10N and the thermal conductivity for heat dissipation is achieved by 150W/mK level, and leads to improvement about 7 times or above in thermal conductivity, as opposed to the organic insulation layer.

Keywords : heat dissipation layer, anodizing aluminum oxide, LED insulation layer, ceramic insulation layer, LED PCB, thermal conductivity

1. 서 론

화합물 반도체에 있어서 전자와 정공의 결합에 의해 빛을 방출하는 소자인 LED (Light Emitting Diode)는 저전력소비형 조명기구로서 활발한 보급¹⁾이 이루어지고 있으나, 사용전력의 대부분이 열로 변환(75 - 85%)됨으로써 발생열의 소자부위 축적에 따른 수명단축 및 효율저하 등이 문제로 대두되고 있어,^{2,3)} LED칩의 발생열로 인한 문제를 최소화하기 위해 발광효율을 높이거나⁴⁾ 패키지의 구조개선^{5,6)}을

통하거나 고 열전도율 재료적용^{7,8)}을 통한 방열효과 증대화가 활발히 연구되고 있다. 고 열전도율 재료 적용의 경우 주로 사용되는 Al등의 금속계 PCB는 PCB와 LED칩과의 전기적 분리를 위해 에폭시계의 유기물 재료가 적용되고 있으나, 장시간 고온환경에의 노출에 따라 박리현상이 발생하고 열전달특성이 낮음으로 인해 방열특성이 저하되는 단점이 있으며, 이를 대체하고자하는 산화물계의 세라믹 PCB 또한 안정적이고 내구성있는 계면확보의 어려움과 고가격화에 따른 적용성 제약이 문제시 되고 있다.¹¹⁾ 고온용 산화물계 PCB (Printed Curcuit Board)대비하여 우수한 열전도성 및 내열성의 특징을 갖는 Al계 PCB의 일반적인 구조(module on Package)는 LED칩, 절연층(Insulation layer), Al PCB, TIM

*Corresponding Author : Department of Advanced Materials Engineering, Korea Polytechnic University
E-mail : smlim@kpu.ac.kr

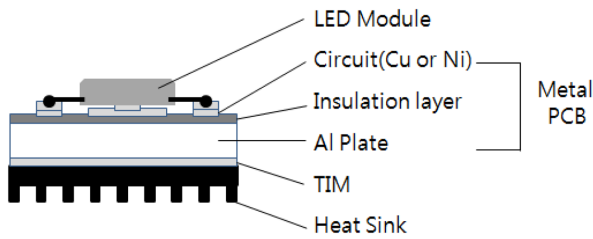


Fig. 1. Schematic diagram of LED package structure.

(thermal interface material), Heat sink로 구성되어 있다(그림 1).¹⁰⁾

본 연구에서는 고출력 LED등 고온환경에도 적용 가능한 금속계 PCB를 제작하기 위한 시도로서, 패키지와 Al PCB 사이에 적용되는 에폭시를 내열성의 세라믹으로 대체하고자, Al계의 금속PCB 표면을 양극산화법(Anodizing)으로 처리하여 산화알루미늄화(Al_2O_3)하여 적용함으로써 전기적 절연성과 내열성을 확보하고자 하였다. 절연성이 확보되는 조건에서 산화알루미늄 두께를 최저화함으로써 고열전도특성을 확보하여, PCB에서 발생하는 열을 신속히 외부로 방열함으로써 고온환경에서 내구성이 확보되는 금속PCB 형성기술을 제안하고자 하였다. 양극산화로 형성한 이산화알루미늄 상부에는 Ni 금속전도막을 건식스퍼터링법과 습식 전해도금법을 이용하여 순차 형성시켜 전기회로용으로서의 적용가능성을 확인하였으며, 다층성막한 피막에 대한 밀착력 등의 기계적 특성, 절연성 및 전기전도성의 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

절연층 형성을 위한 양극산화법으로는 낮은 전압이 소요되고 비독성공정의 특징을 갖는 황산법을 사용하였으며, 산화 피막의 특성을 조정하기 위해서 처리액의 종류와 농도, 전해액의 온도, 전류밀도와 처리시간 등을 적절히 조절하였다. 전해액(황산) 농도는 10 - 20%, 전해조 온도는 0°C, 10°C 및 20°C에서, 사용전압은 교류 15 - 25 V, 직류 12 - 20 V, 전류 밀도 0.5 - 1.3 A/dm² 조건에서 진행하였고, 목표 피막두께 60 μm의 형성을 위해 5-100분의 공정시간을 적용하였다. 전류의 공급상태에 따라 피막의 두께 및 기공크기 등의 조건이 변화하고, 경우에 따라 양극산화피막의 파괴도 발생할 수 있음에 따라 전류밀도를 주요변수로 설정하여 공급하였다.

시편은 1050계 Al판재(20*20*2 mmt, 순도 99.5%, 알코아)를 세정 건조하여 사용하였고, 양극산화 피막에서의 크랙발생여부는 광학현미경 관찰(배율 400 배)로 확인하였다. 산화물화로 확보되는 전기절연

Table 1. Sputtering conditions for Ni electrode layer.

Base pressure	3.3×10^{-6} Torr
Working pressure	7.5×10^{-2} Torr
Working gas and flow rate	Ar, 70 sccm
Discharge power	3kW
substrate temperature	150-200°C

성은 절연파괴전압에 해당하는 내전압을 측정(one ball법, 승압속도 10 V/s, 5개소값 평균하여 채택)하여 평가하였고, 피막의 외형과 단면은 광학현미경과 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, Hitachi)을 이용하여 관찰하였다.

양극산화피막 형성을 통해 얻은 절연층 상부에 통전성을 갖는 Seed layer용 전극은 Ni타겟(순도 99.9%, Tascos)을 사용하여 직류 스퍼터링법(DC magnetron sputtering M/C, 삼한진공)으로 약 0.01 μm 두께의 Ni을 성막하였고, 이 Seed layer를 전극으로 하여 상부에 전해도금법으로 Ni피막을 형성시켰다.

Seed layer용 Ni형성을 위한 구체적인 실험 조건은 표 1에 표기하였다.

전해도금법으로 Seed layer상부에 형성시키는 전기회로용 Ni박막은 도금응력을 최소화하기 위해 $NiSO_4 \cdot 5H_2O$ 를 주요 전해액으로, stress reducer로서 saccharin을 사용하여 제작하였다. 전해도금에 의한 Ni 피막의 계면밀착력은 Scratch tester(KIPAE ENT)로 측정하였고, 열충격 저항성(20°C와 120°C)은 열충격시험기로 5회반복 처리한 후 표면상태의 변화 발생유무를 관찰하였으며, 피막의 잔존응력은 deposit stress analyzer (Specialty Testing, 683EC)로 각각 측정하였다. 잔존응력은 성막필름을 수직방향으로 설치한 후, 필름이 휘어지는 방향을 통해 인장 혹은 압축응력의 형성여부를 판단하고, 필름이 휘어지는 정도를 하부에 설치한 응력환산표(MPa)를 목시 관측하여 채택하였다. 3층막으로 형성된 다층피막의 열전도성은 IR센서에 의한 비접촉식 상승온도 측정법(KS L 1604:2007)으로 측정(NETZCH, LFA447)하였다. 본 연구에서 진행한 실험의 전반적인 흐름을 그림 2에 나타내었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 양극산화법에 의한 Al_2O_3 절연층 형성 및 특성

세정 등의 전처리를 진행한 알루미늄 시편 양극에 전압을 가한 후 통전하여 양극산화반응을 진행하여 표면에 산화알루미늄(Al_2O_3)피막을 형성시켰다. 형성된 피막의 전자현미경 관찰상인 그림 3을

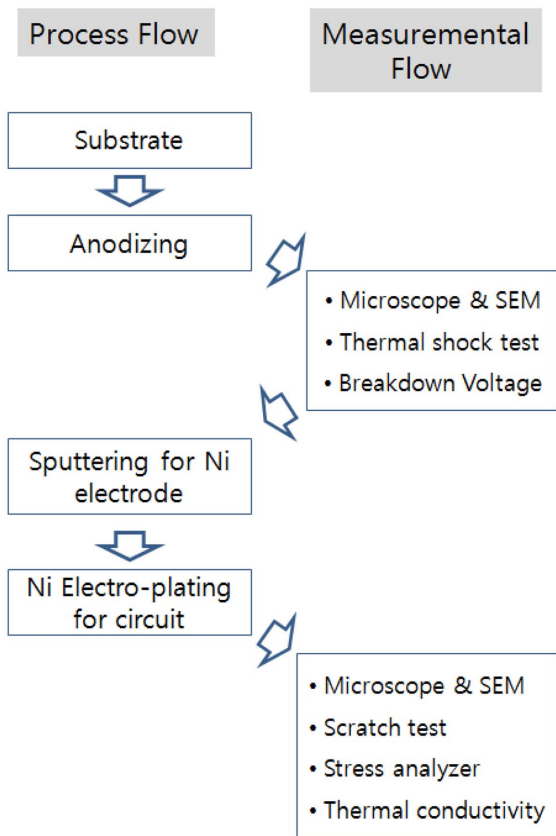


Fig. 2. Experimental flow for film making and measurement.

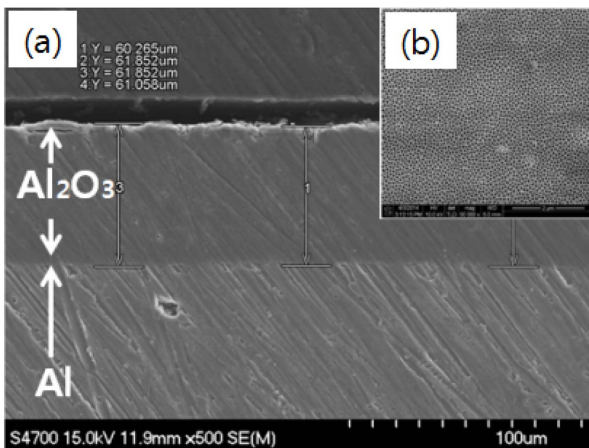


Fig. 3. Cross-sectional (a, X500) and surface (b, X50,000) SEM image of Al₂O₃ thin film on Al substrate.

통해 확인되는 바와 같이, 산화알루미늄피막은 다수의 연구결과^{12,13)}와 유사한 매우 작고 균일된 많은 수의 다공성 피막형태로 성장하였음이 확인되었고, 두께는 60 μm 내외로 측정되었다.

이산화알루미늄피막의 내열특성이 제조조건 특히 황산의 조성 및 양극산화반응조의 온도에 따라 변화함에 따라 황산조성 및 반응온도를 변화시켜 시료를 제조한 후, 열충격시험에 대한 표면상태를 광학현미경으로 관찰하여, 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

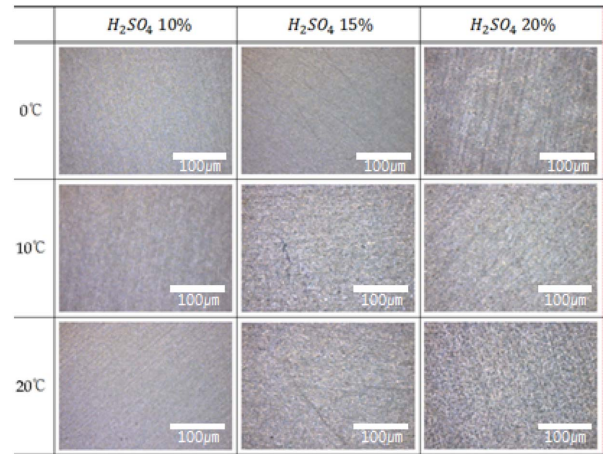


Fig. 4. Thermal shock test for Al₂O₃ layer anodized with various H₂SO₄ composition and temperature.

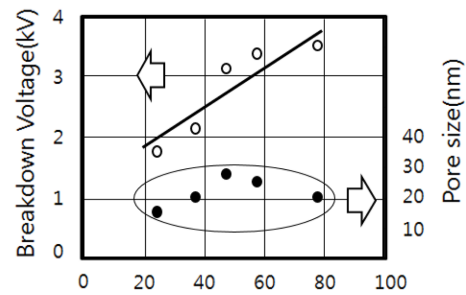


Fig. 5. Breakdown voltage and pore size of Al₂O₃ layer with various thickness.

열 변화에 대한 내충격성을 갖는 최적의 양극산화피막은 황산 10%, 온도는 0-20°C (약간의 Powdering 현상 있음), 전류밀도 1 A/dm², 전해반응 유지시간 30분의 제조공정조건에서 확보할 수 있었다.

산화알루미늄의 두께는 실험조건에 의해 10-100 μm 범위내에서 비교적 자유로이 조정가능하며, 내전압 특성은 그림 5에 나타내는 바와 같이 두께의 변화에 의존하는 경향을 알 수 있다. 양극산화막 표면에 형성되는 pore의 크기는 10 - 30 nm 범위의 직경 (50,000배율의 전자현미경 관찰상에서 직경 대표성을 갖는 20개 pore를 대상으로 측정한 평균값)을 가지며 동일 조건의 양극산화법내에서는 두께변화에 대해 특정한 경향의 의존성을 갖지 않음이 확인되었다.

3.2 회로용 Ni전극막 형성 및 특성

Al₂O₃ 절연막 상부에 회로용 Ni막을 전해도금으로 형성시키기 위한 도전전극용으로 DC-Magnetron sputtering법을 이용한 0.8 μm 두께의 박막Ni를 형성시키고, 이 Ni막을 전극으로 이용하여 40 μm 두께의 Ni 막을 전해도금법으로 순차 형성시켰다. 그림 6에 아노다이징 처리한 Al₂O₃층위에 Ni층이 형

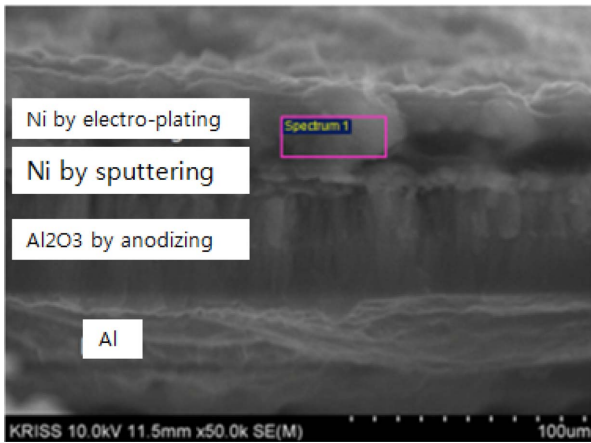


Fig. 6. Cross-sectional SEM image of two Ni layers by sputtering and electroplating on Al₂O₃.

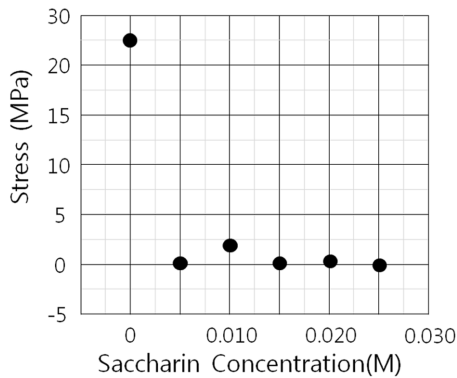


Fig. 7. Total stress of Ni electro-plated layer with various Saccharin concentration.

성된 단면 이미지를 표기하였으며, EDS로 확인한 Ni박막은 잔존 탄화수소로 인한 탄소 이외의 불순물이 존재하지 않는 순수 Ni 층임을 확인하였다.

전해도금법의 Ni박막화 과정에 도입되는 인장응력과 압축응력의 잔존응력은 시간의 경과에 따라 다층박막의 박리현상으로 이어짐에 따라, 응력의 최소화를 위한 완화제로서 Saccharin을 사용하여 제거하고자 하였다. 응력완화제의 투입농도에 따른 Ni 박막의 잔존응력을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 잔존응력은 수직방향으로 설치한 박막형성부의 휘어지는 방향에 따라 인장응력과 압축응력 여부를 판단하였다. 목시관측으로 판단한 결과로, 응력완화제 미적용시에는 25 MPa 수준의 높은 인장응력형성 결과이나, 완화제로서 Saccharin적용시 필름의 곡률이 확인되지 않을 수준으로 대부분 제거됨이 확인되었으며, Saccharin 0.005M 이상의 결과에서는 약간의 인장응력 형성 내지는 응력의 대부분이 해소된 결과를 얻을 수 있었다.

3.3 다층박막의 특성

양극산화막(Al₂O₃)과 상부에 형성시킨 전극막

(sputtering법에 의한 Ni 및 전해도금법에 의한 Ni 박막)의 계면밀착력 측정을 위해 scratch test를 실시하였다. Al표면에 형성시킨 3개층의 다층박막이 보이는 계면밀착력은 Scratch tester에 의해 10N으로 측정되어, 일반적인 증착법에 의한 동박형성에 대한 결과치(약 4N) 대비 우수수준으로, 캐스팅 및 라미네이팅 방식에 대한 결과치(약 10N) 대비 동등 수준으로 확인되어, 보편적인 환경에서의 PCB 적용에는 문제가 없는 것으로 판단된다.^{14,15)}

IR센서에 의한 비접촉식 상온온도 측정법에 의해 다층박막의 열전도특성을 측정한 결과, 150 W/mK의 결과를 얻었다. 이는 일반 Metal PCB(본 연구 결과와 열특성을 비교하기 위해 동일 형태 및 동일 구조로 제작하되 절연층만을 에폭시수지물질로 적용한 것)에서 얻는 20.8 W/mK의 7배 이상의 고열전도 특성에 해당하는 값이다.

4. 결 론

본 연구에서는 Metal PCB의 방열특성을 개선시키기 위해 기존에 절연층으로 적용되어 온 에폭시계 수지물질을 산화물(Al₂O₃)로 대체하고자 양극산화법을 이용하여 절연층을 형성시키고, 그 상부에 스퍼터링법과 전해도금법으로 회로용 전극물질을 순차 형성하여 그 특성을 평가하였다. 양극산화법을 이용해 50 - 60 μm 두께로 형성한 이산화알루미늄피막에서 내전압값은 약 3kV내외의 결과를 얻었으며, 안정적인 열충격 저항을 갖는 최적의 제조조건을 확보하였다. 이산화알루미늄 상부에 형성시킨 회로용 Ni박막을 포함하는 3층박막에 있어서의 계면밀착력은 10N이상값을 확보하였고, 방열특성을 위한 열전도특성은 150 W/mK 수준으로 기존기술이 적용되는 유기물질계 대비하여 약7배 이상의 개선효과를 얻었다.

References

1. Z. G. Piao, E. A. Moon, I. J. Kim, G. B. Cho, and H. C. Kim ; J. of Advanced Engineering and Technology, 2 (2009) 165.
2. J. Hu, L. Yang, and M. W. Shin ; J. Phys. D: Appl. Phys., 41 (2008) 035107.
3. M. H. Shin and J. P. Kim ; Introduction to LED Packaging Technology, Bookshill co., (2008) 289.
4. S. Y. Jung and T. Y. Seong ; Electron. Mater. Lett., 8 (2012) 549.
5. J. C. Hsieh, D. T. W. Lin, and C. H. Cheng ; IEEE Transaction on Electron Devices, 58 (2011) 1141.

6. L. Kim and M. W. Shin ; IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 30 (2007) 897.
7. H. H. Kim, S. H. Choi, S. H. Shin, Y. K. Lee, S. M. Choi, and S. Yi ; Microelectron. Reliab., 48 (2008) 445.
8. M. K. Ko, J. H. Ahn, Y. C. Lee, K. S. Kim, J. W. Yoon, and S. B. Jung ; Korean J. Met. Mater., 50 (2011) 71.
9. Y. B. Yoon and J. W. Park ; IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 32 (2009) 825.
10. D. W. Hong, S. J. Lee and J. H. Cho ; Korean Journal of Optics and Photonics, 20 (2009) 236.
11. Kelvin Shih ; LED Junction Temperature Measurement and its Applications to Automotive Lamp Design, SPE international, (2004) 25.
12. J. H. Yuan, F. Y. He, D. C. Sun, and X. H. Xia ; Chem. Mater., 16 (2004) 1841.
13. W. Bensalahy, M. Feki, M. Wery and H.F. Ayedi ; J. Mater. Sci. Technol., 26(2010) 113.
14. 장동규, 신영의, 최명기, 남원기, 신현필, 박영상; PCB SMT 품질관리, 도서출판 골드, 서울(2006) 667.
15. 장동규, 신영의, 최명기, 남원기, 홍태환 ; PCB 핵심기술 핸드북, 도서출판 골드, 서울(2005) 441.