

RF-Magnetron Sputtering 방법을 이용해 질소분압비에 따른 금속 PCB용 AlN 절연막의 특성

김화민¹, 박정식¹, 김동영¹, 배 강¹, 손선영^{1,a}

¹ 대구가톨릭대학교 전자공학과

Characteristics of AlN Dielectric Layer for Metal PCB as a Function of Nitrogen Partial Pressure Using RF-Magnetron Sputtering Method

Hwa-Min Kim¹, Jeong-Sik Park¹, Dongyoung Kim¹, Kang Bae¹, and Sunyoung Sohn^{1,a}

¹ Department of Electronics Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702, Korea

(Received August 2, 2010; Revised September 15, 2010; Accepted September 20, 2010)

Abstract: In this investigation, the effects of $N_2/(Ar+N_2)$ gas partial pressure on the structural, electrical, and thermal properties of AlN dielectric layers prepared on aluminum substrates using RF-magnetron sputtering method were analyzed. Among the films, the AlN dielectric film deposited under $N_2/(Ar+N_2)$ gas partial pressure of 75% exhibit the highest AlN (002) preferred orientation, which was grain size of about 15.32 nm and very dense structure. We suggest the possibilities of it's application as a dielectric layer for metal PCB because the AlN films prepared at optimized gas partial pressure can improving the insulating property, the thermal conductivity, and thermal diffusivity of the films.

Keywords: Aluminum nitride, RF-magnetron sputtering, Metal PCB, Dielectric layer

1. 서 론

오늘날 전자기술은 빠르게 발전하고 있다. 그에 따라 전자부품 소자는 소형화, 다기능화, 대용량화를 추구 하였고 회로 기판상에 탑재 되어 있는 각종 부품의 고집적화로 이어졌다. 하지만 부품들의 고밀도화는 전자부품 소자의 높은 발열로 인한 수명 저하와 기판과 부품의 접합부 단락과 같은 문제점이 발생하였다. 이와 같이 기판 상에 실장 되어 있는 부품이 열에 의해 단락 또는 기능을 상실하는 것을 방지하기 위해서는 구동시 발생하는 열을 가능한 빠르게 방열 시켜주는 인쇄회로기판 (printed circuit board, PCB)에 대한 중요성이 높아지고 있다 [1].

최근 고휘도, 고출력의 발광다이오드 light emitting diode (LED)가 디스플레이 및 조명 분야에서 널리

사용되고 있다. 이러한 고휘도, 고출력의 LED를 실장한 제품에 대한 수요증가와 함께 기판의 방열에 대한 문제점이 부각되고 있으며, LED 특성상 고열로 인한 수명의 저하가 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 금속 소재를 기반으로 한 고방열성 기판이 주목받고 있다 [2]. 기존에 PCB 기판으로는 FR-4와 같은 열경화성 수지를 기반으로 한 프린트 기판 또는 세라믹 기판이 사용되었으나, 발열 문제들로 인해 최근에는 방열특성이 우수한 금속기반의 PCB 기판의 사용이 증가되고 있다 [3,4]. 그러나, 금속 PCB 기판의 경우 금속 기판층과 전극층 사이에 전기 절연성이 뛰어나면서도 열적 특성이 우수한 절연막을 필요로 한다. 기존에 절연막으로 사용되는 Al_2O_3 (알루미나)의 경우 $35\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 의 낮은 열전도 특성을 가지므로 금속 PCB 기판으로 적용하기에는 제한적이다.

a. Corresponding author; sysohn@cu.ac.kr

Table 1. Deposition conditions of AlN film using sputtering system.

Deposition parameter	Deposition condition
Target	AlN (2 Inch, 99.9%)
Substrate	Aluminum (5052)
N ₂ /(Ar+N ₂) ratio	0%~100%
RF power density	9.8 W/cm ²
Film thickness	5 μm

최근에 절연물질로 주목받고 있는 AlN (질화알루미늄)의 경우 이론적으로 319 W/(m·K)의 높은 열전도도를 가지며, 알루미늄에 비해 약 10배 이상 높고, 전기 절연성이 ($9 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$) 우수하며, 실리콘과 비슷한 열팽창계수가 (4×10^{-6}) 알루미늄보다 낮으면서도 기계적 강도가 (430 MPa) 뛰어난 특징을 가지고 있어 반도체의 기판재료나 반도체 레이저용 방열재 등과 같은 전자재료로서의 수요증대가 크게 기대되고 있다 [5]. 그러나, 기존에 AlN 층을 형성하기 위한 분말 합성법과 박막합성법 (화학 증착법) 등은 분말의 분쇄과정 또는 1700℃ 이상의 고온의 질화반응 공정이 요구되어진다. 따라서 본 연구에서는 건식공정이면서 친환경적이며, 높은 증착율, 대면적화가 가능하며, 고밀도의 AlN 절연막을 형성할 수 있는 RF-magnetron sputtering 방법을 이용하여 N₂/(Ar+N₂) 가스 분압비에 따른 AlN 절연막의 전기적 특성, 구조적, 열적 특성들을 통해 급속 PCB 기판용으로서의 적용가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험조건

RF-magnetron sputtering 방법을 이용하여 알루미늄 기판위에 N₂/(Ar+N₂) 가스 분압비에 따라 제작된 AlN 절연막의 증착 조건은 표 1에 나타내었다. 다양한 질소 분압비의 조건에서 증착된 AlN 막의 구조적인 특성들을 분석하기 위해 X-선 회절분석 (x-ray diffractometry, XRD)과 주사전자현미경 (scanning electron microscope, SEM) 측정을 하였다. 막의 전기적 특성은 절연과피전압을 측정하였고, 열적 특성으로는 열전도율과 열확산율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 N₂/(Ar+N₂) 가스 분압비에 따른 AlN 절연막의 구조적 특성

N₂/(Ar+N₂) 질소 분압비에 따른 증착율을 측정한 결과, 질소 분압비가 0%에서 25%로 증가할수록 막의 증착율은 186 Å/min에서 91 Å/min로 감소하다가 25% 이상에서는 포화 (saturation) 되는 경향을 보였다. 이는 스퍼터링 시 질소 분압비의 증가에 따라 스퍼터율이 큰 아르곤 (Ar)이 타겟 표면에 충돌하는 횟수는 감소되고 상대적으로 질소의 충돌밀도가 증가하여 Al-N 결합이 형성되기 때문이다 [6]. 다양한 질소 분압비의 조건에서 증착된 AlN 절연막의 구조적 특성을 분석하기 위해 XRD 스펙트럼 측정결과를 그림 1에 나타내었다. 제작된 막들 가운데 N₂/(Ar+N₂) 가스 분압비가 75%인 조건에서 증착된 AlN막이 가장 우수한 AlN (002) 배향성을 갖는 것으로 나타났다. 또한 그림 2에서 질소 분압비가 75%에서 증착된 AlN 막은 Scherrer formular를 이용해 XRD 스펙트럼의 반가폭 (full width at half maximum, FWHM) 으로부터 입자크기를 계산한 결과, 약 15.32 nm의 가장 큰 입자 크기를 갖는 것으로 나타났다.

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

계산에 적용된 X-선의 파장 (λ)은 Cu-K α 선 (1.5405 Å)이며, B는 (002) 피크의 FWHM, θ 는 회절각을 나타낸다 [7]. XRD 결과로부터 측정된 AlN (002) 피크의 반치폭은 질소 분압비가 0%에서 75%로 증가할수록 3.83에서 0.54로 감소한다. 반면, 질소 분압비가 100%일 경우에는 반치폭이 다시 감소하는 경향을 보인다. 이는 막 증착 시 유입된 질소량이 질화막을 형성하는데 우세적인 역할을 하며, 최적화된 조건에서 형성된 AlN 절연막은 입자크기가 크면서 다공성이 감소한 고밀도 막이 형성되었음을 의미한다. 반면, 질소 분압비가 75%에 비해 증가 또는 감소할 경우 AlN 막에서 (002) 방향의 우선 배향성이 감소되고 입자의 크기도 감소하는 경향을 보였다. 이는 제작된 막들의 정량분석을 한 결과, 스퍼터링 시 N₂/(Ar+N₂) 가스 분압비가 75%보다 낮을 경우에는 반응가스인 N₂ 가스성분이 Al 원자들과 원활하게 결합하지 못하여 화학조성비가 불균형한 AlN_x 형태의 막을

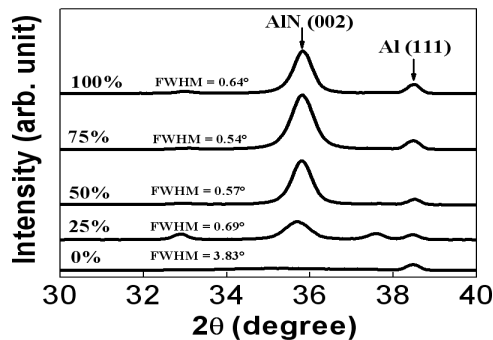


Fig. 1. XRD spectra of AlN films as a function of $N_2/(Ar+N_2)$ partial pressure ratio.

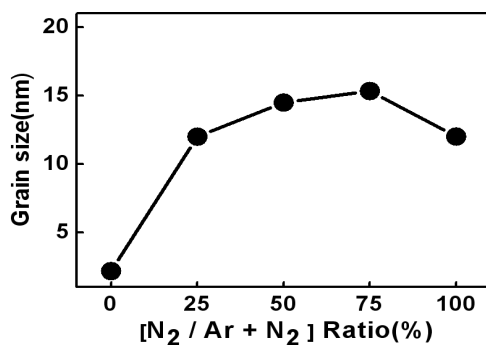


Fig. 2. Grain sizes of AlN films as a function of $N_2/(Ar+N_2)$ partial pressure ratio.

형성하는 것으로 나타났다. 또한, 가스 분압비가 75% 비해 높을 경우에는 스퍼터링 시 질소 과잉에 의해 AlN 우선 성장이 저해되는 것으로 사료된다 [8-10].

그림 3은 질소 분압비에 따라 증착된 AlN 막들의 표면 형상을 분석하기 위해 SEM 이미지를 측정한 결과이다. SEM 이미지에서 볼 수 있듯이 $N_2/(Ar+N_2)$ 비율이 (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%인 경우에는 막 표면에 다수의 기공 형태들이 관찰되었으며, 질소 분압비가 (d) 75%인 경우에는 AlN 표면형상이 미세해지면서 치밀해지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 그림 1과 2에서 결정성 향상과 잘 일치한다. 반면, 질소 분압비가 (e) 100%일 경우에는 증착된 AlN 막 표면 형상이 부분적으로 결점 (defect site)을 갖는 거친 표면을 나타내고 있다.

3.2 $N_2/(Ar+N_2)$ 가스 분압비에 따른 AlN 절연막의 전기적 특성

그림 4는 $N_2/(Ar+N_2)$ 가스 분압비에 따라 제작된

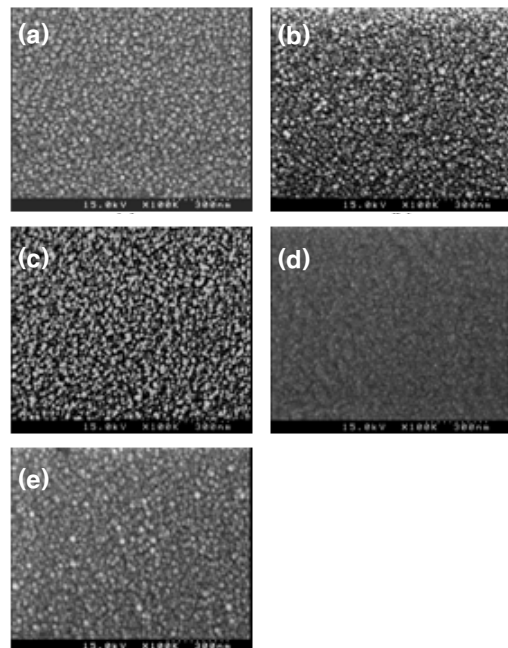


Fig. 3. SEM images of AlN films when $N_2/(Ar+N_2)$ gas ratio is respectively; (a) 0%, (b) 25%, (c) 50%, (d) 75% and (e) 100%.

AlN 절연막의 전기적 특성을 분석하기 위해 절연 파괴전압 (breakdown voltage)을 측정한 결과이다. $N_2/(Ar+N_2)$ 가스 분압비가 0%에서 75%로 증가함에 따라 절연파괴전압은 약 1.5배 증가하다가 100%일 경우에는 다시 감소하는 경향을 보였다. 이는 AlN 절연막 증착 시 $N_2/(Ar+N_2)$ 가스분압 비가 0%, 25%, 50%와 같이 질소 가스량이 최적화되지 못한 조건에는 증착된 막의 화학조성비 불균형으로 인해 AlN_x 막이 형성되고, 증착된 막내에 결합하지 못한 Al 금속 성분이 다량 함유되어 절연 특성이 낮게 나오는 것으로 사료된다. 반면에 75%의 질소 분압비에서 증착된 AlN 막은 우선 배향성을 가지면서 입자크기가 커면서도 매우 조밀한 구조를 가지므로 제작된 막들 가운데 0.566 KV의 가장 높은 절연파괴 전압을 갖는 것으로 나타났다.

3.3 $N_2/(Ar+N_2)$ 가스 분압비에 따른 AlN 후막의 열적 특성

다양한 질소 분압비의 조건에서 제작된 AlN 절연막의 열적 특성을 분석한 결과, 그림 5에서 볼 수 있듯이 질소 분압비가 75%인 조건에서 형성된 AlN막

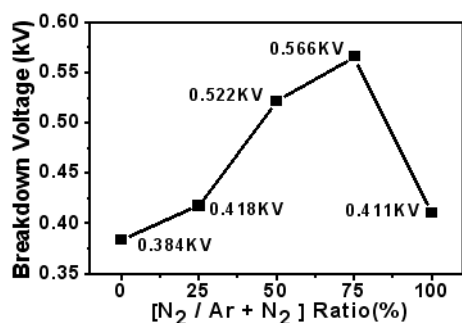


Fig. 4. Breakdown voltage of AlN dielectric layers prepared at various N₂/(Ar+N₂) partial ratios.

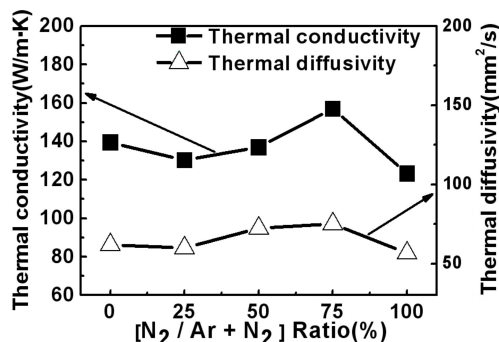


Fig. 5. Thermal conductivity and thermal diffusivity of AlN dielectric layers as a function of N₂/(Ar+N₂) gas ratio.

이 가장 높은 열전도도 (157 W/mK)와 열확산율 (75 mm²/s)을 나타내었다. 특히, 본 실험에서 제작된 AlN 막의 경우 Al₂O₃ (18 W/mK)에 비해 약 10배 정도 큰 열전도도를 갖는 것으로 나타났다 [11].

이는 스퍼터링 시 최적화된 가스 분압비에서 제작된 AlN 막의 경우 안정화된 화학 조성비를 가지며, 동시에 SEM 이미지 분석결과로 질소 가스 비율이 75%인 조건에서 형성된 AlN막의 입자의 크기가 크면서도 매우 치밀한 구조의 막이 형성되었기 때문이라 사료된다. 이러한 큰 입자 크기를 갖는 AlN를 금속 PCB에 적용할 경우 열이 전달될 수 있는 통로가 넓어지게 되고 그 결과 열전도도의 상승을 가져올 수 있기 때문이다 [11].

4. 결 론

본 실험에서는 금속 PCB용 절연층으로 RF-magnetron sputtering법에 의해 제작된 AlN 절연막의 특성들을

분석하였다. 다양한 N₂/(Ar+N₂)가스 분압비에 따라 제작된 AlN 절연막들 가운데, 75%의 최적화된 질소 분압비에서 막이 형성될 경우 다른 샘플들에 비해 AlN(002) 우선배향성이 높고 입자 크기가 크면서도 조밀한 막이 형성되었음을 확인 하였다. AlN 막의 전기적 및 열적 특성 향상에는 증착된 막의 결정성과 입자의 크기가 주요한 요소라 사료되고, 결과적으로 RF-magnetron sputtering 방법을 이용해 75%의 최적화된 N₂/(Ar+N₂) 가스 분압비에서 제작된 AlN 절연층의 우수한 전기절연성과 방열특성을 통해 금속 PCB로 적용가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 대구가톨릭대학교 교내 연구비 지원에 의함.

REFERENCE

- [1] I.-K. Kang, S.-K. Hur, G. T. Hong, J.-M. Doh, N.-I. Baik and H.-G. Yun, *A study on the fabrication of the circuit board by the plasma spray coating technique* (Ministry of Science and Technology, Korea, 1991).
- [2] N. Yonemura, *The Technical Trend Of High Radiation In Package for LED Lighting* (Techno Times of Japan, Japan, 2007) p. 68.
- [3] J. Lee, *J. Inst. Electron. Eng. Korea*, **21**, 803 (1994).
- [4] C.-D. Kim, Y.-B. Son, G.-T. Joo, and S.-D. Jang, *J. Kor. Ceramic Soc.* **29**, 83 (1992).
- [5] K. Shinozaki and A. Tsuge, *Ceramics*, **21**, 12 (1986).
- [6] D. Mardare, M. Tasca, M. Delibas, and G. I. Rusu, *Appl. Surf. Sci.* **156**, 200 (2000).
- [7] H. Okano, Y. Takahashi, T. Tanaka, K. Shibata, and S. Nakono, *Jpn. J. Appl. Phys.* **31**, 3017 (1992).
- [8] J. H. Bang, D. H. Chang, S. J. Kang, D. G. Kim, and Y. S. Yoon *J. Inst. Electron. Eng. Kor.* **43**, 1 (2006).
- [9] H. P. Loeb, M. Klee, C. Metzacher, W. Brand, R. Milsom, and P. Lok, *Mater. Chem. Phys.* **79**, 143 (2003).
- [10] C. K. Nam, S. W. Choi, H. G. Chun, and T. Y. Cho, *J. Kor. Vac. Soc.* **6**, 44 (1997).
- [11] J. Hong and S. E. Shim, *Appl. Chem. Eng.* **21**, 115 (2010).