

반응성 스퍼터링에 의한 InN 박막 제작  
( Preparation of InN thin films by reactive sputtering )

김영호 광운대학교 전자재료공학과  
송복식 광운대학교 전자재료공학과  
정성훈 광운대학교 전자재료공학과  
문동찬 광운대학교 전자재료공학과  
김선태 대전산업대학교 재료공학과

Young-Ho Kim Dept. of Electronic Material Eng., Kwangwoon University  
Bok-Sik Song Dept. of Electronic Material Eng., Kwangwoon University  
Sung-Hun Chung Dept. of Electronic Material Eng., Kwangwoon University  
Dong-Chan Moon Dept. of Electronic Material Eng., Kwangwoon University  
Sun-Tae Kim Dept. of Material Eng., Taejon National University of Technology

Abstract

Indium nitride thin films were deposited on Si(100) substrates by reactive sputtering method. The metallic indium target was sputtered by nitrogen gas with rf sputtering equipment. The surface morphology and cross-section of the InN thin films were investigated by scanning electron microscopy. The crystal orientations were investigated by X-ray diffraction and the Hall effect were measured with van der Pauw method. The indium nitride thin film showed high Hall mobility( $215\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ ) at 5mTorr total pressure and rf power 60W.

1. 서 론

InN는 실온에서 적색 가시광영역의 직접 천이형 에너지갭( $E_g = 1.89\text{ eV}$ )를 갖기 때문에 가시광 파장영역에서 고효율의 새로운 광전자 소자로 응용할 수 있을 것으로 기대되며, 높은 전기적 이동도를 갖기 때문에 전자소자 응용에 무한한 잠재력을 갖고 있다. 그러나 InN는 질소 분해압이 매우 높기 때문에 성장하기가 매우 어려운 실정에 있다.<sup>[1,2]</sup>

예를 들어 고주파 반응성 스퍼터링<sup>[1,3-5]</sup>, 반응성 증착, ion plating, MOVPE<sup>[6]</sup>와 MBE<sup>[10]</sup>같은 방법들이 낮은 온도에서 성장하는 효과적인 방법으로 보고되고 있다. 때때로 제작된 InN 박막은 도우너 중심으로 작용하는 많은 수의 질소 공격자에 의해 낮은 이동도( $1\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ )와 높은 캐리어 농도( $10^{20}$

$\text{cm}^{-3}$ )를 보인다.

본 논문에서는 고주파 반응성 스퍼터링 방법을 사용하여 높은 홀 이동도와 낮은 캐리어 농도를 갖는 InN 박막을 제작하고자 한다. 이를 위하여 구조적 및 전기적 특성을 조사하여 양질의 InN 박막을 위한 최적의 제작조건을 도출하고 제작된 InN 박막의 소자응용 가능성을 타진해 보고자 하였다.

2. 실험

본 실험에서는 고주파 스퍼터링 장치(ANELVA, SPF-210)를 사용하여 InN 박막을 제작하였다. 99.99% 순도의 디스크형 In 타겟(직경 : 10 cm)을 사용하였고, glow 방전 가스로는 99.999%의 아르곤과 질소 가스를 사용하였다. 아르곤 가스는 타겟의 불순물과 산화막 및

전 실험에서 타겟에 증착된 질화막을 제거하기 위하여 사용하였고, 질소가스는 In과 반응하는 반응가스로 사용하였다. 기판으로는 Si(100) 웨이퍼를 사용하였다. 스퍼터링을 수행하기 위하여 진공조를  $2 \times 10^{-6}$  Torr이하로 배기시킨 후에 아르곤 가스를  $5 \times 10^{-4}$  Torr가 되도록 주입하여 glow 방전을 형성하였다. 반응 가스인 질소 가스를 주입하면서 박막을 증착하기 전에 1시간정도 pre-sputtering을 하였다. 플라즈마에 의해서 타겟과 기판 지지대가 가열되는 것을 방지하기 위해서 냉각수를 순환시켜서 약 30°C정도를 유지하였다. 스퍼터링 변수로는 고주파 출력과 전체압력을 사용하였다.

InN 박막의 구조적 특성을 조사하기 위해서 X-선 회절법을 사용하여 InN 박막의 결정 방향성을 조사하였다. 주사 전자현미경으로 표면을 관찰하였으며, InN 박막의 전기적 특성을 조사하기 위해서 실온에서 홀 효과 측정을 수행하였다. 홀 효과 측정을 위해서 본 실험에서는 van der Pauw 법을 적용하였다. 표 1에서는 InN 박막 증착시 실험조건을 나타냈다.

Table 1. Experimental conditions

TARGET	99.99% In
SUBSTRATE	Si(100)
SUBSTRATE TEMPERATURE	30°C
BASE PRESSURE	$2 \times 10^{-6}$ Torr
TOTAL PRESSURE	3mTorr~30mTorr
RF POWER	20W~120W
REACTIVE GAS	99.999% N <sub>2</sub>
TARGET ETCHING	Ar : 10min. N <sub>2</sub> : 60min.
SPUTTERING DURATION	10min. ~ 100min.

### 3. 결과 및 고찰

증착된 InN 박막은 어두운 적색을 띄었다. 모든 조건에서 n형 전도성을 보이며 매우 높은 전도도를 보였다.

그림 1은 전체 압력을 변화시키면서 증착된 InN

박막의 X-선 회절도 변화를 보여주고 있다. 고주파 출력은 20W로 고정하였다. 모든 전체압력에서 (0002) peak가 관찰되었다. 특히 전체압력이 5mTorr와 7mTorr일때 X-선 회절강도가 강하게 나타났으므로 이때의 전체압력을 양질의 c축 방향성을 갖는 wurtzite 구조의 InN 박막을 얻기 위한 전체압력 조건으로 선택하였다.

그림 2와 3은 각각 전체압력이 5mTorr와 7mTorr일때 고주파 출력을 변화에 따른 증착된 InN 박막의 X-선 회절도이다.

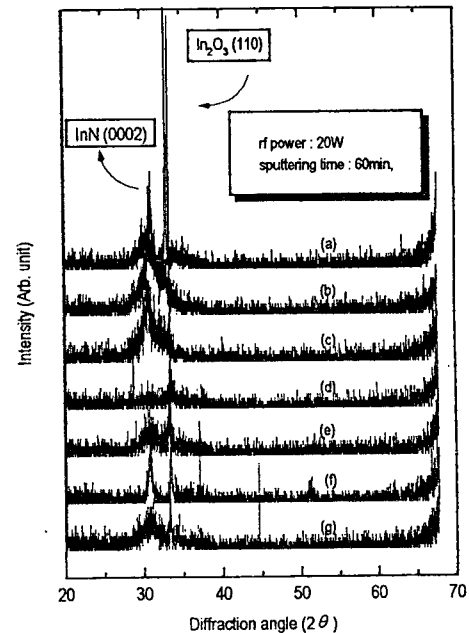


Fig. 1 - Dependence of X-ray diffraction pattern on the total pressure. : (a) 3 mTorr, (b) 5 mTorr, (c) 7 mTorr, (d) 10mTorr, (e) 15 mTorr, (f) 20 mTorr, (g) 30 mTorr.

모든 고주파 출력에서 c축 방향성의 wurtzite 구조를 나타내는 (0002) peak가 강하게 나타났다. 전체압력이 5 mTorr에서는 100W일때 (0002) peak의 회절강도가 가장 크게 나타났으며 7mTorr일때는 60W와 100W에서 (0002) peak가 강하게 나타나는 것을 확인하였다. c축 방향성을 갖는 wurtzite구조의 양질의 InN 박막을 증착하기 위해서는 고주파 출력이 60W와 100W일때가 최적

조건임을 알 수 있었다. 고주파 출력이 120W로 증가하게 되면 (0002) peak가 약해지고 상대적으로 다른 peak들이 증가하기 때문에 양질의 InN 박막을 얻기 위한 고주파 출력의 상한 임계치를 100W로 결정할 수 있다. 그림 4는 전체 압력이 7mTorr, 고주파 출력이 60W일 때의 SEM의 표면과 단면을 보여주고 있다. InN 박막 표면은 거울면이며 단면으로부터 InN 박막은 columnar구조로 증착되었음을 확인할 수 있었다.

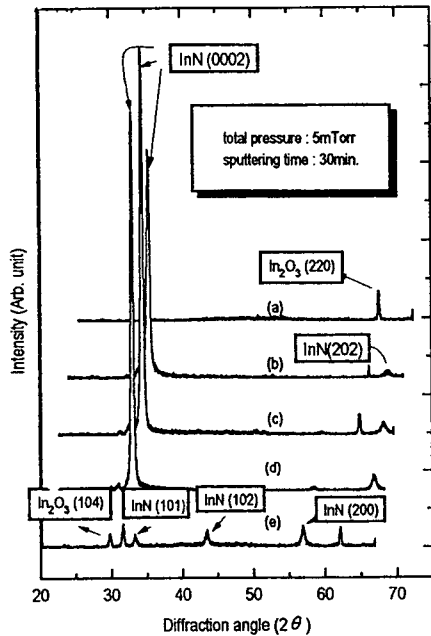


Fig. 2 - Dependence of X-ray diffraction pattern on the rf power at 5mTorr : (a) 20W, (b) 40W, (c) 100W, (e) 120W.

전체압력을 변화시켰을 때 홀 효과 측정에 의하여 얻어진 홀 이동도는 모든 전체압력에서  $30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  이하의 값을 보였으며, 5mTorr와 7mTorr 부근에서 높은 값을 보였다. 그러므로 높은 홀 이동도를 얻기 위한 전체압력 조건으로 5mTorr와 7mTorr를 선택하였다. 그러나 캐리어 농도는 전반적으로  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  정도의 값을 얻을 수 있었다.

그림 5는 전체압력이 5mTorr와 7mTorr일때 고주파 출력의 변화에 따른 홀 이동도를 보여주고 있다. 전체압력이 5mTorr와 7mTorr에서 고주파 출력이 60W일

때  $200 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  이상의 우수한 홀 이동도를 보였다

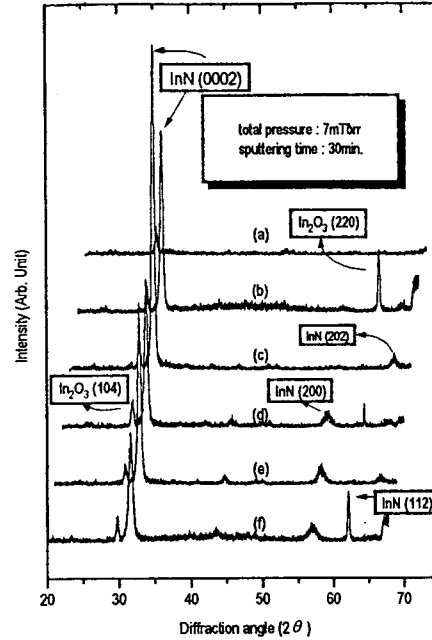


Fig. 3 - Dependence of X-ray diffraction pattern on the rf power at 7mTorr : (a) 20W, (b) 40W, (c) 60W, (e) 100W, (f) 120W.

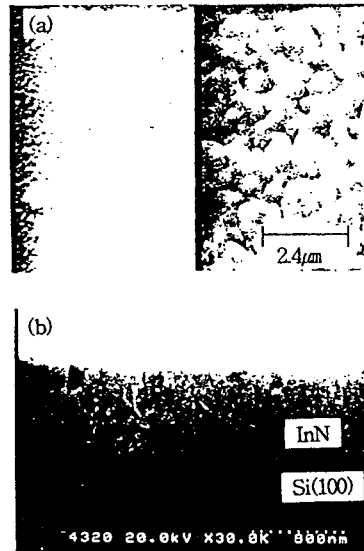
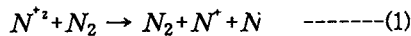


Fig. 4 - SEM image of InN thin films grown by reactive sputtering at 7mTorr, 60W : (a) surface, (b) cross-section.

이상의 실험 결과로부터 높은 홀 이동도를 갖는 양호한 InN 박막을 얻기 위해서는 5mTorr, 7mTorr의 전체압력과 60W의 고주파 출력이 최적조건임을 알 수 있었다.

Natarajan등<sup>5)</sup>에 의하면, In은 질소분자와는 화학흡착하지 않고 질소원자와 화학흡착하며, 그 반응하는 질소원자는 다음과 같은 반응식 (1)에 의하여 공급된다.



스퍼터링후에 육안으로 관찰된 타겟 표면은 항상 검은색을 띤다. 이러한 사실은 Foley와 Tansely<sup>11)</sup>에 의하면, 질소원자의 부분압이 타겟에 근접한 고주파 방전영역에서는 충분히 높고, 결과적으로 타겟 표면은 완전히 질화된다. 그러나 스퍼터된 층이 완전히 질화되어도 증착된 막은 항상 표면의 질소원자가 reevaporation과 resputtering현상에 기인하여 질소가 결핍되어 질소 공격자에 의해서 n형 전도성을 띠게 된다. 그러므로 이러한 현상을 억제하기 위해서는 기판온도를 낮게 해야 하므로 본 논문에서는 플라즈마 가열 효과를 배제하기 위하여 냉각수를 이용하여 30℃를 유지하였다

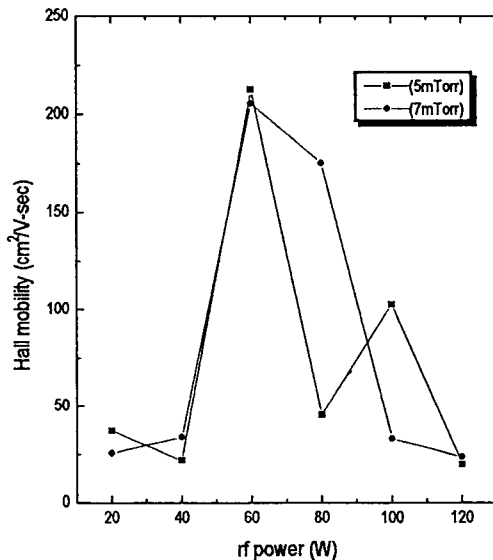


Fig. 5 - Dependence of Hall mobility on the rf powers at 5 mTorr and 7 mTorr.

전체압력이 증가하면 self-induced negative bias가 감소하기때문에 resputtering을 감소시키는데 효과적이다. 그러나 전체압력이 과도하게 높아지면 플라즈마상태에서 많은 입자들의 충돌에 기인하여 증착률이 감소하게 된다. 그러므로 전체압력 7 mTorr를 증착을 위한 효과적인 전체압력의 상한치로 결정하였다.

#### 4. 결론

반응성 스퍼터링에 의해 c축 방향성을 갖는 InN 박막이 제작되었다. 또한 전체압력 5mTorr와 고주파 출력 60W인 조건에서 215cm²/V-sec의 높은 홀 이동도를 갖는 양질의 InN 박막을 얻을 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. T.L. Tansely and C.P. Foley, J. Appl. Phys. 59 (1986) 3241.
2. J.B. MacChesney, P.M. Bridenbaugh and P.B. O'Connor, Mater. Res. Bull. 5(1970) 783.
3. T.L. Tansely and C.P. Foley, Electron. Lett., 20 (1984) 1066.
4. H.J. Hovel and J.J. Cuomo, Appl. Phys. Lett., 20 (1972) 71.
5. B.R. Natarajan, A.H. Eltoukhy, J.E. Greene and T.L. Barr, Thin Solid Film 69 (1980) 201.
6. K.L. Westra, R.P.W. Lawson and M.J. Brett, J. Vac. Sci. Technol., A 6 (1988) 1730.
7. K. Kubota, Y. Kobayashi and K. Fujimoto, J. Appl. Phys. 66 (1989) 2984.
8. T.J. Kistenmacher, W.A. Bryden, J.S. Morgen, D. Dayan, R. Fainchtein and T.O. Poehler, J. Mater. Res., 6 (1991) 1300.
9. A. Wakahara T. Tsuchiya and A. Yoshida, J. Crystal Growth 99. (1990) 385.
10. W.E. Hoke, P.J. Lemonias and D.G. Weir, J. Crystal Growth 111 (1991) 1024.