

## BCl<sub>3</sub> 기반의 혼합가스들을 이용한 InP 고밀도 유도결합 플라즈마 식각

조관식 · 임완태 · 백인규 · 이제원<sup>†</sup> · 전민현  
인제대학교 나노공학부/나노기술 응용연구소

### High Density Inductively Coupled Plasma Etching of InP in BCl<sub>3</sub>-Based Chemistries

Guan Sik Cho, Wantae Lim, Inkyoo Baik, Jewon Lee<sup>†</sup> and Minhyun Jeon  
School of Nano Engineerings, Inje University/ Institute of Nano-Technology Applications, Gimhae,  
Gyoung-Nam, 621-749, Korea

(2003년 6월 4일 받음, 2003년 11월 10일 최종수정본 받음)

**Abstract** We studied InP etching in high density planar inductively coupled BCl<sub>3</sub> and BCl<sub>3</sub>/Ar plasmas(PICP). The investigated process parameters were PICP source power, RIE chuck power, chamber pressure and BCl<sub>3</sub>/Ar gas composition. It was found that increase of PICP source power and RIE chuck power increased etch rate of InP, while that of chamber pressure decreased etch rate. Etched InP surface was clean and smooth (RMS roughness < 2 nm) with a moderate etch rate (300-500 Å/min) after the planar BCl<sub>3</sub>/Ar ICP etching. It may make it possible to open a new regime of InP etching with CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>-free plasma chemistry. Some amount of Ar addition (< 50%) also improved etch rates of InP, while too much Ar addition reduced etch rates of InP.

**Key words** ICP, Dry Etching, InP, HDPICP, BCl<sub>3</sub>

## 1. 서 론

최근 미세구조의 크기가 점점 감소됨에 따라, 빠르고 정확한 식각률, 우수한 식각 균일도, 높은 재현성을 요하는 건식식각 공정이 선호되고 있다.<sup>1-3)</sup> 특히 광섬유 통과 손실이 최소인 1.3-1.55 μm 파장 대역에서 빛을 송수신할 수 있는 InGaAsP/InP 구조를 가진 장거리 광통신용 소자 제작 시 식각깊이(etch depth), 수직측벽도(sidewall) 그리고 표면거칠기(surface roughness) 등이 소자의 특성에 아주 중요한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 낮은 압력에서 고밀도 전하를 갖는 플라즈마의 특성연구<sup>4-7)</sup>가 반도체 제조공정에서 매우 중요하게 되어 최근에 활발히 진행되고 있다. 전자가속공명(Electron Cyclotron Resonance, ECR)을 이용한 반도체의 건식식각은 높은 이온밀도와 낮은 이온에너지로 우수한 식각률을 얻는 것이 가능하지만 반응기내에서 이온들이 국부적으로 샘플에 영향을 주므로 웨이퍼 크기가 대구경화 됨에 따라 식각균일도가 떨어져 결국 소자의 전기적, 광학적인 특성을 저하시킬 수 있다. 그 해결책을 찾기위해 최근에는 이온에너지와 이온밀도를 독립적으로 조절할 수 있고 식각균일도도 우수한 고밀도 유도결합 플라즈마 장비<sup>8-11)</sup>를 이용한 공정개발을 주로 연구하고 있다. In 기반 반도체 소자의 건식 식각방법은 주로 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 가스를 사용하고 있

지만 식각률이 낮고(< 1000 Å/min), 반응기의 내부 상태에 매우 민감하여, 공정가스 중 CH<sub>4</sub> 함유량이 많으면 샘플표면에 폴리머(polymer)가 쌓일 수 있다. 또한 플라즈마에 포함된 수소로 인해 hydrogen passivation 현상이 나타나 소자의 성능이 저하될 수 있다는 여러가지 단점을 가지고 있다.<sup>12,13)</sup> 따라서 CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마 대신 산업에서 가장 많이 사용하는 Cl- 계열의 플라즈마를 이용한 InP 반도체 건식식각 개발이 최근 들어 큰 관심을 모으고 있다. 그러나 순수한 Cl<sub>2</sub>나 BCl<sub>3</sub> 가스 단독의 플라즈마만을 이용하여 InP를 식각할 경우 휘발온도가 서로 다른 식각 부산물(InCl<sub>3</sub>: 600°C, PCl<sub>3</sub>: 76°C)로 인한 선택적 손실(preferential loss)Cl<sub>3</sub>로 식각후 InP 표면은 깨끗하지 않고 작은 덩어리들이 존재할 수 있다. 따라서 이번 연구에서는 BCl<sub>3</sub> 뿐만 아니라 선택적 손실을 최소화 시키기 위한 방법으로 BCl<sub>3</sub>에 불활성 가스인 Ar을 혼합한 플라즈마를 이용하여 PICP 소스파워, RIE 척파워, 공정압력과 가스혼합비에 따른 InP의 건식 식각특성을 분석하였다.

## 2. 실험 방법

이번 연구에 사용된 장비(모델명 No. APE510)는(주) 클라이오틱과 본 연구진이 공동으로 개발하여 제작한 평판형 유도결합 플라즈마(Planar Inductively Coupled Plasma, PICP)이다.<sup>14)</sup> 샘플을 올려놓기 위한 샘플 받침

<sup>†</sup>E-Mail : jwlee@inje.ac.kr

대(크기: 지름 100 mm)와 PICP 코일에는 각각 13.56 MHz의 RF 전원을 연결하였고, 장비는 기계식 펌프와 터보 분자펌프로  $10^{-5}$  mTorr 이하의 기본압력을 얻을 수 있도록 설계되었다. 반응기 베이스 압력은 cold cathode 게이지, 공정압력은 baratron 게이지로 각각 측정하였다. 이번 연구에 사용한 샘플로는 1  $\mu$ m 두께의 PR(photoresist)로 패터닝된 InP 샘플을  $1 \times 1$  cm<sup>2</sup> 크기로 잘라서 지름 100 mm의 어노다이징된 Al 캐리어위에 올려서 실험하였다. 플라즈마 공정가스로는 BCl<sub>3</sub>와 BCl<sub>3</sub>/Ar을 사용하였다. 이때 반응기로 유입된 가스의 총량은 20 sccm으로 고정하였고 적당한 식각깊이를 얻기 위하여 공정시간은 3-5분으로 하였다. 공정변수로는 상온에서 BCl<sub>3</sub> 조성비(0-100%), PICP 소스파워(0-500 W), RIE 척 파워(0-150 W), 공정압력(5-15 mTorr)이었다. 공정이 끝난 샘플은 아세톤을 이용하여 PR을 제거한 후 두께측정기(Alpha-step 200, Tencor)을 이용하여 식각률을 측정하고, 전자주사 현미경(S-2700, Hitachi)과 원자력간 현미경(MultimodeTM, Digital Instrument)을 이용하여 식각단면과 RMS 표면 거칠기를 분석을 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 RIE 척 파워(100 W)와 공정압력(7.5 mTorr)을 고정시킨 상태에서 20 sccm BCl<sub>3</sub>와 15 BCl<sub>3</sub>/5 Ar 가스를 사용한 경우 PICP 소스파워에 따른 InP의 식각률과 자기 유도된(self-induced) -dc 바이어스의 변화를 나타내었다. PICP 소스파워가 0-500 W로 증가함에 InP의 식각률은 20 sccm BCl<sub>3</sub>의 경우는 0 Å/min-600 Å/min로, 15 BCl<sub>3</sub>/5 Ar의 경우는 0-550 Å/min로 증가하였다. 식각률의 증가는 PICP 소스파워가 증가함에 따라 반응기내의 이온밀도 증가로 인해 나타난 결과이다. 일반적으로 BCl<sub>3</sub>에 불활성 가스인 Ar을 혼합하면 Ga 기반 반도체의 경우는 식각률을 상당히 증가시키지만 본 실험 결과에서처럼 InP 소자의 경우는 주어진 공정조건에서 Ar 가스의 혼합에 따른 이온 스퍼터링(sputtering) 효과에도 불구하고 전반적으로 600 Å/min 이하의 낮은 식각률을 보였다. 이 결과로부터 RIE 척파워를 100 W로 고정시킨 경우에는 Ar의 이온 에너지가 InP의 식각률을 크게 증가시킬 만큼 충분하게 높지 않아 ICP 소스파워를 증가시켜도 휘발성이 낮은 식각부산물인 InCl<sub>x</sub>(끓는점: 600°C)를 효과적으로 제거할 수 없다는 것을 알 수 있었다. 한편 PICP 소스파워가 0에서 500 W까지 증가해도 자기 유도된 -dc 바이어스는 큰 변화가 없었다.

Fig. 2는 PICP 소스파워(300 W)와 공정압력(7.5 mTorr)을 고정시킨 상태에서 20 sccm BCl<sub>3</sub>와 15 BCl<sub>3</sub>/5 Ar 가스를 사용한 경우 RIE 척파워에 따른 InP의 식각률과 자기유도된 -dc 바이어스를 나타내었다. RIE 척파워가 0-150 W로 변하게 되면 자기 유도된 -dc 바이어스가 증가하여 반응기내의 이온이 큰 가속 에너지를 얻어 샘플과 강하게 충돌하게 된다. 그 결과로 Fig. 2에 나타

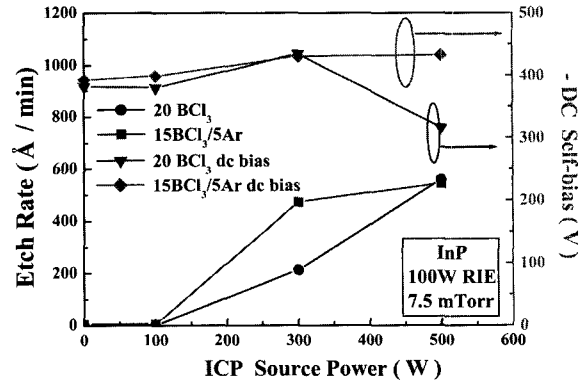


Fig. 1. InP etch rate and -dc bias as a function of PICP source power(W) at 20 sccm BCl<sub>3</sub> and 15BCl<sub>3</sub>/5Ar plasmas.

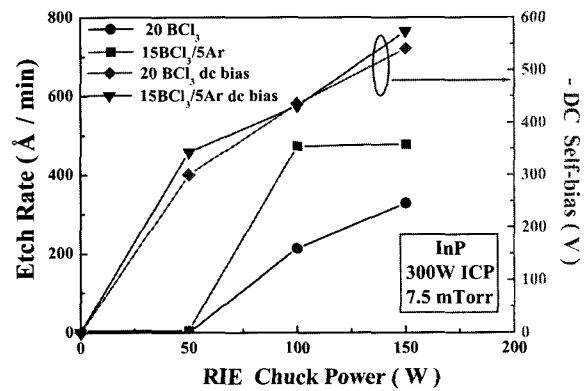


Fig. 2. InP etch rate and -dc bias as a function of RIE chuck power at 20 sccm BCl<sub>3</sub> and 15BCl<sub>3</sub>/5Ar plasmas.

난 것처럼 RIE 척 파워가 증가함에 따라 식각률이 증가하는 것으로 사료된다. 일반적으로 고밀도 유도결합 플라즈마 장비에서 ICP 소스파워는 이온밀도, RIE 척파워는 자기 유도된 -dc 바이어스와 이온 에너지에 큰 영향을 준다. 그 결과 Fig. 1과 Fig. 2에 나타난 것처럼 ICP 소스파워와 RIE 척파워의 증가는 이온 밀도와 이온 에너지를 증가시켜 InP의 식각률을 높인 것으로 예상된다.

PICP 소스파워를 300 W로, RIE 척파워를 100 W로 고정시킨 상태에서 20 sccm BCl<sub>3</sub>와 15 BCl<sub>3</sub>/5 Ar 가스를 사용한 경우 공정 압력에 따른 InP의 식각률과 자기 유도된 -dc 바이어스의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 공정 압력이 5-15 mTorr로 증가하면 InP의 식각률은 20 sccm BCl<sub>3</sub>의 경우에는 320-0 Å/min, 15 BCl<sub>3</sub>/5 Ar 경우에는 600-0 Å/min로 감소하였다. 또한 가스의 종류에 상관없이 자기 유도된 -dc 바이어스는 압력 증가에 따라 감소하였다. 식각률의 감소는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 이유는 압력이 증가함에 따라 반응기내의 가스 함유량 증가로 인하여 이온의 평균자유행정(mean free path)이 짧아져서 InP 샘플에 충돌하는 이온의 에너지가 감소하여 식각률이 감소되었다고 사료된다. 두 번째로는 압력이 증가함에 따라 높은 에너지를 가지고 있으며 반응성이 강한 라디칼의 양이 줄어들어 화

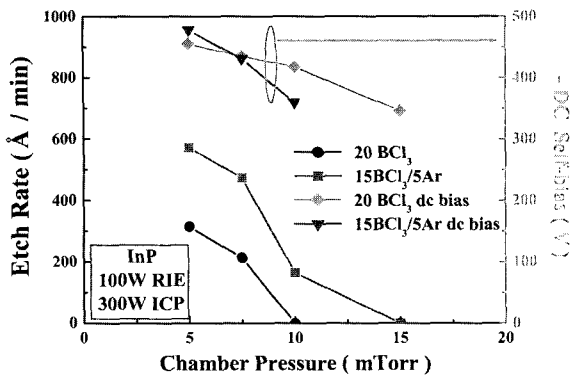


Fig. 3. InP etch rate and -dc bias as a function of chamber pressure at 20 sccm BCl<sub>3</sub> and 15BCl<sub>3</sub>/5Ar plasmas.

학적 반응의 감소로 InP의 식각률을 감소시켰다고 예상한다. 또한, 이전에 발표한 데이터<sup>15)</sup>에 의하면 공정압력이 증가함에 따라 반응기내의 BCl<sub>3</sub> 분자 peak(492 nm)과 Cl(820.32 nm)과 Ar(912 nm)의 원자 peak이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과로부터 공정압력이 높을수록 플라즈마 이온밀도가 감소한다는 것을 광학발광 분광기(Optical Emission Spectroscopy, OES)를 통해 정성적으로 확인하였다. 주목할 것은 Fig. 2와 3으로 부터 같은 압력에서 20 sccm BCl<sub>3</sub> 플라즈마만을 사용한 경우보다 25% Ar이 혼합된 15 BCl<sub>3</sub>/5 Ar 플라즈마를 사용한 경우 InP의 식각률이 더 높다는 것이다. 100% BCl<sub>3</sub> 플라즈마를 사용한 경우의 식각 메커니즘은 BCl<sub>3</sub> 가 electronegative gas 이므로 주로 화학적인 식각이 지배적이지만 BCl<sub>3</sub>에 Ar이 혼합됨으로써 화학적인 식각에 Ar에 의한 물리적인 식각성분인 스퍼터링 효과가 더해져서 InP의 식각률을 증가시킨 것으로 보인다. 이는 BCl<sub>3</sub>에 Ar이 혼합됨으로써 높은 이온보조 (high ion-assisted) 효과에 의해 나타난 결과로 볼 수 있다.

15 BCl<sub>3</sub>/5 Ar, PICP 소스파워를 300 W, RIE 척파워를 100 W, 공정압력을 7.5 mTorr로 고정시킨 상태에서 InP를 3분간 식각한 후 찍은 SEM 이미지와 AFM 데이터를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 이 조건에서의 InP 총 식각깊이는 1400 Å이고 식각 후 PR을 제거하지 않은 상태이다(Fig. 4). 그림에서 알 수 있듯이 표면은 InCl<sub>x</sub>와 같은 식각 부산물이 존재하지 않는 매우 깨끗한 상태를 확인할 수 있었다. 일반적으로 In 기반 반도체를 Cl- 계열의 가스를 사용하여 반응성이온 식각 (Reactive Ion Etching, RIE) 할 경우 휘발성이 서로 다른 식각 부산물(InCl<sub>3</sub>: 600°C, PCl<sub>3</sub>: 76°C)로 인하여 상대적으로 휘발이 어려운 작은 In 덩어리들이 샘플표면에 군데군데 남아있는 경우가 많다. 따라서 이를 제거하고 식각률을 높이기 위해서 보통 공정 중 샘플온도를 130°C 이상 유지해야만 된다. 그러나 본 실험은 고밀도 플라즈마를 발생시키는 평판형 유도결합 플라즈마를 이용한 건식식각을 사용하여 상온에서 상대적으로 낮은 이온에너지로 공정을 하였음에도 불구하고 식각후 표면이 무척 깨끗하여 InP의 상은 BCl<sub>3</sub> 건식식각의 새로운 가

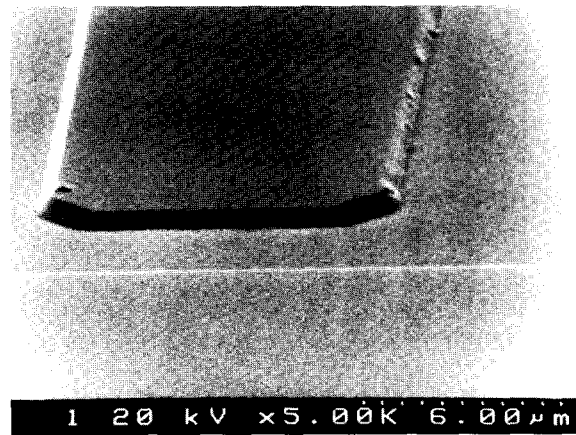


Fig. 4. Scanning Electron Microscopy image of etched InP at 15BCl<sub>3</sub>/5Ar, 100 W RIE, 300 W PICP, 7.5 mTorr. PR was still in the place.

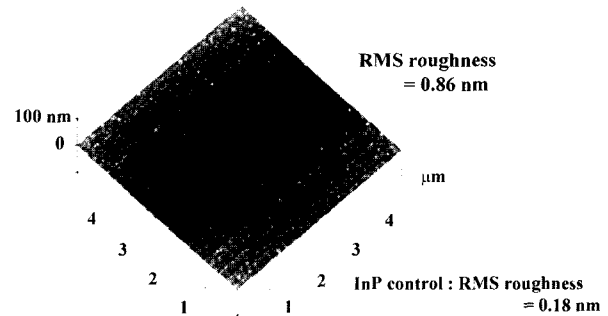


Fig. 5. Atomic Force Microscopy image of etched InP surface at 15BCl<sub>3</sub>/5Ar, 100 W RIE and 300 W PICP, 7.5 mTorr.

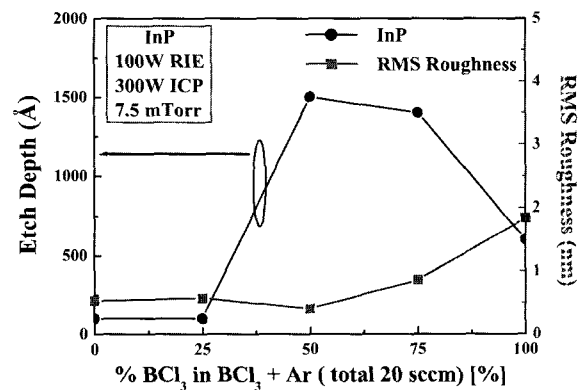


Fig. 6. InP etch depth and RMS roughness as a function of %BCl<sub>3</sub> at 100 W RIE, 300 W PICP, 7.5 mTorr.

능성을 보여주고 있다. 원자력간 현미경을 사용하여 이 조건에서 식각된 InP 샘플표면의 측정결과 RMS 표면 거칠기도 0.86 nm로 아주 평탄함을 확인하였다. 그리고 플라즈마에 노출되기 전의 InP 표면의 RMS 표면 거칠기는 0.18 nm였다.

Fig. 6은 PICP 소스파워(300 W), RIE 척파워(100 W), 공정압력(7.5 mTorr)을 고정시킨 상태에서 %BCl<sub>3</sub>에 따른 InP의 식각깊이와 RMS 표면 거칠기 데이터를 나타내고

있다. 100%  $\text{BCl}_3$  (20 sccm  $\text{BCl}_3$ ) 가스만을 사용하였을 때(식각깊이:  $\sim 650 \text{ \AA}$ , RMS roughness: 1.8 nm)보다 Ar을 적절하게(50% 이하) 혼합하였을 때의 InP의 식각깊이( $< 1,500 \text{ \AA}$ )와 RMS 표면 거칠기( $< 1 \text{ nm}$ )가 더 우수한 것을 확인하였다. 유도결합 플라즈마를 이용한 건식식각의 경우 식각메카니즘은 주로 화학적인 식각이 지배적이고 물리적인 식각은 이러한 화학적인 식각을 보조해주는 역할을 한다. 따라서 50% 이상의 Ar 혼합은 오히려 반응기내의  $\text{BCl}_3$  가스량을 감소시켜 화학적인 식각성분을 현저히 떨어뜨렸다. 그 결과 식각이 거의 되지 않는 나쁜 결과를 초래하였다. 이 데이터로부터 InP와 같은 In 기반 반도체들을  $\text{BCl}_3$  기반가스로 건식식각 할 경우 50% 이하의 Ar의 혼합은 이온보조효과와 In, P의 선택적 손실을 최소화 하여 각각 식각률 증가와 RMS 표면 거칠기를 향상시킨다는 결론을 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고밀도 평판형 유도결합 플라즈마를 이용하여 InP의 건식식각에 대해 분석하였다. PICP 소스 파워(0-500 W), RIE 척파워(0-150 W), 공정압력(5-15 mTorr) 그리고  $\text{BCl}_3/\text{Ar}$ 의 혼합비를 각각 변화시키면서 실험하였다. PICP 소스파워와 RIE 척파워의 증가는 반응기내 이온 밀도와 이온에너지를 각각 증가시켜 InP의 식각률이 증가하였고, 공정압력의 증가는 이온이나 라디칼의 평균자유행정을 감소시켜 식각률이 감소하였다. 그리고 100%  $\text{BCl}_3$  플라즈마만(20 sccm  $\text{BCl}_3$ )을 사용한 경우보다 Ar을 25% 혼합한 15  $\text{BCl}_3/5 \text{ Ar}$  플라즈마를 사용한 경우의 InP 식각률이 약간 더 높았다.

이 결과로부터 화학적인 식각을 주도하는  $\text{BCl}_3$  가스에 불활성 기체인 Ar의 혼합은 이온충돌과 같은 이온보조효과로 공정중 InP 샘플표면으로부터 식각부산물들( $\text{InCl}_x$ ,  $\text{PCL}_x$ )을 제거하는데 도움을 줄 수 있다는 것을 알았다. 또한 본 실험은 상온에서 낮은 파워로 공정을 하였음에도 불구하고 식각후 표면이 무척 깨끗하여 InP의 상온  $\text{BCl}_3$  건식식각의 새로운 가능성을 제시하였다. 총 20 sccm의 혼합가스에서 적절한 양의 (50% 이하) Ar 혼합은 고밀도 평판형 유도결합 플라즈마를 이용한 InP의 건식 식각시 이온보조 효과로 식각률 증가뿐만 아니라 선택적 손실을 최소화 시켜 식각후 평탄한 표면을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 2001년도 지방대학 육성지원(과제번호 2001-002-D00084) 과제에 의해 수행되었습니다. 본 연구에 기술적인 지원을 준 부경대 공동실습관의 류호정 박사께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. H. S. Kim, G. Y. Yeom, J. W. Lee, and T. I. Kim, *Thin Solid Films*, **341**, 180, (1999).
2. B. T. Lee, C. H. Park, S. D. Kim, and H. S. Kim, *J. Korean Vacuum Society*, **8**(4), 541 (1999).
3. J. A. Diniz, J. W. Swart, K. B. Jung, J. Hong, and S. J. Pearton, *Solid-State Electronics*, **42**(11), 1947 (1998).
4. J. W. Lee, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, F. Ren, W. S. Hobson, R. J. Shul, C. Constantine, and C. Barratt, *J. of Electrochemical Society*, **144**, 1417 (1997).
5. J. Hong, J. W. Lee, C. R. Abernathy, E. S. Lambers, S. J. Pearton, R. J. Shul, and W. S. Hobson, *J. of Vac. Sci. Technol.*, **A16**, 1497 (1998).
6. J. W. Lee, E. S. Lambers, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, R. J. Shul, F. Ren, W. S. Hobson, and C. Constantine, *Solid-State Electronics*, **42**, (1998).
7. P. G. Jung, W. T. Lim, G. S. Cho, M. H. Jeon, J. Y. Lim, J. W. Lee, and K. S. Cho, *J. Korean Vacuum Society*, **11** (2), 2002.
8. B. H. O, J. S. Jung, and S. G. Park, *Surface and Coating Technology*, **120-121**, 752 (1999).
9. J. W. Lee, D. Hayes, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, W. S. Hobson, and C. Constantine, *J. of Electrochem. Soc.*, **144**, L245 (1997).
10. J. W. Lee, R. J. Shul, G. A. Vawter, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, and Y. B. Hahn, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **42** (38), (2003).
11. H. G. Kang, S. H. Lim, Y. H. Im, Y. B. Hahn, J. S. Hwang, and B. Y. Han, *J. Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, **14**(2), 158 (2001).
12. T. Maeda, J. W. Lee, R. J. Shul, J. Han, J. Hong, E. S. Lambers, S. J. Pearton, C. R. Abernathy, and W. S. Hobson, *Appl. Surface Science* **143**, 174 (1999).
13. Y. B. Hahn, D. C. Hays, H. Cho, K. B. Jung, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, and R. J. Shul, *Applied Surface Science* **147** (1999).
14. W. T. Lim, I. K. Baek, P. G. Jung, J. W. Lee, G. S. Cho, J. I. Lee, K. S. Cho, and S. J. Pearton, *Korean J. Materials Research*, **13**(4), 266 (2003).
15. I. K. Baek, W. T. Lim, S. R. Yoo, J. W. Lee, M. H. Jeon, W. W. Park, G. S. Cho, and S. J. Pearton, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, **36**(4), 334 (2003).