

150 mm GaAs 웨이퍼의 플라즈마 식각에서 식각 깊이의 균일도에 대한 가스 흐름의 최적화 연구

정필구 · 임완태 · 조관식* · 전민현* · 임재영* · 이제원**† · 조국산**

인제대학교 광대역정보통신학과
*인제대학교 광공학과/나노응용기술연구소
**(주)클라이오텍
(논문접수일 : 2002년 2월 7일)

Effect of Gas Flow Modulation on Etch Depth Uniformity for Plasma Etching of 150 mm GaAs Wafers

Philgu Jung†, Wantae Lim, Guansik Cho*, Minhyun Jeon*, Jaeyoung Lim*, Jewon Lee*, and Kuksan Jo**

Dept. of Broadband Information and Communication, Inje University, Kimhae, Kyung-Nam, Korea
**Dept. of Optical Eng./Center for Nanoapplications Technology, Inje University, Kimhae, Kyung-Nam, Korea*
***Clitok Inc, Technopark 103-601, Bucheon, Kyung-Gi, Korea*

(Received February 7, 2002)

요 약

대면적 GaAs 웨이퍼의 플라즈마 식각 공정에서 식각 깊이의 좋은 균일도를 얻기 위해 반응기 내의 가스 흐름을 조절하는 진보된 기술을 실험하였다. 유한차분수치법(Finite Difference Numerical Method)은 GaAs 웨이퍼의 건식 식각을 위한 반응기 안의 가스 흐름의 분포를 시뮬레이션하기에 유용한 방법이다. 이 방법을 이용해 시뮬레이션된 자료와 실제의 것이 상당히 일치한다는 것이 $\text{BCl}_3/\text{N}_2/\text{SF}_6/\text{He}$ ICP 플라즈마의 실험 결과로 확인되었다. 대면적 GaAs 웨이퍼의 플라즈마 식각 공정 중에서 포커스 링(focus ring)의 최적화된 위치가 가스 흐름과 식각 균일성을 동시에 향상시키는 것을 이해했다. 반응기와 전극(electrode)의 크기가 변하지 않는 상황에서 샘플을 고정시키는 클램프 배치의 최적화를 통해 100 mm(4 inch) GaAs 웨이퍼에서 가스 흐름의 균일성을 $\pm 1.5\%$, 150 mm(6 inch) 웨이퍼에서는 $\pm 3\%$ 이하로 유지시킬 수 있는 것을 시뮬레이션결과에서 확인할 수 있다. 시뮬레이션된 가스 흐름의 균일도 자료와 실제 식각 깊이 분포실험 데이터의 비교로 대면적 GaAs 웨이퍼에서 건식 식각의 뛰어난 균일성을 얻기 위해서는 반응기 내의 가스흐름분포의 조절이 매우 중요함을 확인하였다.

Abstract

We developed engineering methods to control gas flow in a plasma reactor in order to achieve good etch depth uniformity for large area GaAs etching. Finite difference numerical method was found quite useful for simulation of gas flow distribution in the reactor for dry etching of GaAs. The experimental results in $\text{BCl}_3/\text{N}_2/\text{SF}_6/\text{He}$ ICP plasmas confirmed that the simulated data fitted very well with real data. It is noticed that a focus ring could help improve both gas flow and etch uniformity for 150 mm diameter GaAs plasma etch processing. The simulation results showed that optimization of clamp configuration could decrease gas flow uniformity as low as $\pm 1.5\%$ on an 100 mm(4 inch) GaAs wafer and $\pm 3\%$ for a 150 mm(6 inch) wafer with the fixed reactor and electrode, respectively. Comparison between simulated gas flow uniformity and real etch depth distribution data concluded that control of gas flow distribution in the chamber would be significantly important in order to achieve excellent dry etch uniformity of large area GaAs wafers.

† E-mail : jwlee@ijnc.inje.ac.kr

1. 서 론

진보된 GaAs 웨이퍼기반 소자들의 대량생산은 웨이퍼의 스케일을 높이는 것과 공정 최적화를 촉진시킨다 [1,2]. 이러한 소자들에는 GaAs/AlGaAs 또는 GaAs/InGaP Metal Semiconductor Field Effect Transistors(MESFETs) [3], Heterojunction Bipolar Transistors(HBTs)[4-8], High Electron Mobility Transistors(HEMTs) [9] 등이 포함된다. 최근 GaAs 소자 산업체에서는 100 mm나 150 mm 같은 대면적 웨이퍼의 공정규모를 확장하려 하고 있다. 특히 대부분의 MESFET과 HBT 산업체들이 현재 100 mm (4 inch)공정에서 150 mm (6 inch)공정으로 옮겨가고 있다. 즉 대부분의 GaAs 웨이퍼 기반의 공정들이 스케일을 높일 준비가 되어야 한다는 것을 의미한다.

이러한 대면적 GaAs 웨이퍼의 건식 식각 공정에서 핵심적인 주제 중 하나는 뛰어난 식각 균일도의 유지이다. 여기서 주목해야 할 것은 대면적 GaAs 웨이퍼에서 공정 균일성을 유지하는 것이다. 높은 생산성을 위한 또 다른 주제는 GaAs 웨이퍼 건식 식각시, 식각 공정 후 웨이퍼의 모서리 버림(edge-exclusion)을 최소화하는 것이다. 진보된 GaAs 웨이퍼 식각 산업에서 버려지는 모서리는 이전보다 점점 더 작아지고 있다. 현재 모서리 버림의 한계 치는 8-10 mm에서 4-6 mm 사이이다. 모서리 버림의 최소화는 건식 식각 후 공정의 생산성을 향상시킬 수 있다.

작고 경제적으로 고안된 반응기는 산업화를 위한 또 다른 중요한 주제이다. 만일 일반적인 크기의 웨이퍼 공정에 최적화가 안된 반응기가 사용되었을 때 이것이 해당 공정에 비해 불필요하게

크다면, 추가 비용이 사용될 것이다. 즉 반응기에는 고가의 진공 펌프가 필요한데 반응기의 최적화가 되지 않으면 유지비용이 원래 필요로 하는 것보다 더 커지게 된다. 또한 공정 압력을 유지하기 위해서는 최적화된 반응기내에서 필요한 양보다 더 많은 가스가 필요하게 된다.

본 연구팀의 기존의 연구를 통해 알맞은 반응기내에서의 플라즈마 식각 중 웨이퍼 위의 식각 깊이 분포를 어떻게 향상시킬 수 있을 지에 대한 문제는 해결되었다 [10]. 또한 여기서 우리는 가스 흐름의 분포가 반응기내의 식각 깊이에 주는 영향을 이해할

수 있었다. 실제 실험에서, 가스가 반응기의 모서리(edge) 부분으로부터 주입될 때의 선택성/비선택성 ICP 식각후, GaAs 웨이퍼의 식각 깊이는 일반적으로 모서리에서 더 크고 중앙(center)에서 더 낮다는 것이 발견되었다. 우리는 “건식 식각의 균일성을 높이기 위한 어떤 기하학적인 효과는 없을까?”와 “반응기의 크기가 정해져 있다면, 균일한 플라즈마 식각을 위해서 어떻게 클램프(clamp) 모양과 위치를 최적화 할 것인가?”에 대한 의문을 해결하고자 노력했다.

여기서 우리는 반응기내에서 가스 흐름 균일도를 어떻게 하면 증가시킬 수 있을지를 논의할 것이다. 시뮬레이션 결과와 실제 실험 결과의 비교로 반응기내에서 뛰어난 가스 흐름을 위해 최적화된 척(chuck)과 전극의 디자인이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 또한 클램프와 포커스 링의 크기와 높이가 가스 흐름의 균일도, 식각 깊이의 분포와 최종적으로 식각 깊이의 균일도에 중요한 영향을 주었음을 확인하였다.

2. 실험방법

가스 흐름의 시뮬레이션을 위해 유한차분수치법(Finite Difference Numerical Method)을 사용하였다. 시뮬레이션에서 플라즈마 반응기는 높이 300 mm, 지름 300 mm로 디자인하였다. 그리고 척은 200 mm 지름에 150 mm 높이로 디자인되었다. 시뮬레이션을 할 때 여러 가지 크기와 높이의 클램프와 포커스 링을 사용하였다. 가스는 중앙, 모서리 또는 샤워헤드(showhead)를 통해 공급되는 것으로 설정하였다. 시뮬레이션은 100 mm (4 inch)와 150 mm (6 inch)의 GaAs 웨이퍼를 대상으로 행해졌다.

몇몇 시뮬레이션 된 데이터들을 ICP 식각 시스템에서 얻어진 실제 실험 결과와 비교하였다. 실제 실험에서는 $\text{BCl}_3/\text{N}_2/\text{SF}_6/\text{He}$ 가스를 GaAs 웨이퍼 식각에 사용하였다. 그리고 포커스 링의 사용효과에 대한 비교 데이터를 얻기 위해 100 mm GaAs 웨이퍼 한 장 전체를 사용하였다.

3. 결과 및 논의

그림 1은 시뮬레이션에 사용된 반응기의 단면 개략도를 나타내고 있다. 여기서 전체 반응기는

150 mm GaAs 웨이퍼의 플라즈마 식각에서 식각 깊이의 균일도에 대한 가스 흐름의 최적화 연구

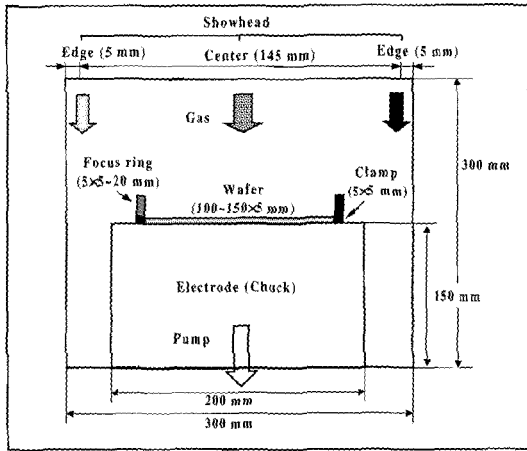


그림 1. 시뮬레이션된 반응기의 단면 개략도.

300mm × 300 mm의 원통형으로 디자인하였고, 그 반응기 안의 전극은 200 mm × 150 mm의 원통형으로 디자인하였다. 그리고 웨이퍼를 고정시키기 위해 사용된 클램프는 5 mm × 5 mm의 굵기를 가지고 지름이 100~150 mm인 도넛형태이다. 이 시뮬레이션에서 가스 흐름을 집중시키기 위해 사용된 포커스 링은 두께 5 mm, 높이 5~20 mm의 면을 가지는 지름 100~150 mm인 원통형이고, 이 포커스 링은 클램프 위에 세워 사용하였다. 반응기내로 가스가 공급되는 경로로는 반응기의 중앙과 모서리 부분, 그리고 샤워헤드가 사용되는데, 여기서 모서리의 가스 통로는 원통형 반응기의 위쪽 모서리 끝에서 5 cm까지의 폭을 가지는 도넛형태이다.

그림 2에서는 전극 위의 웨이퍼 지름의 영향에 의한 가스 흐름의 균일도를 시뮬레이션 했다. 여기

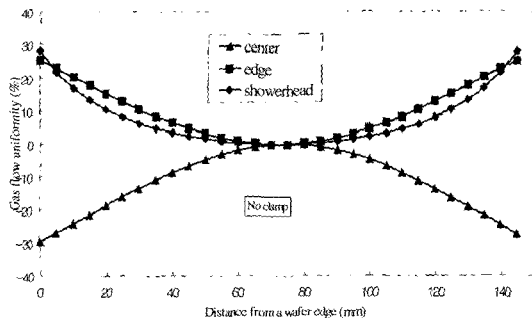


그림 2. 150 mm 웨이퍼 모서리로부터의 거리에 따른 가스 흐름의 균일도.

서 웨이퍼 위쪽의 샤워헤드를 통해 주입되는 가스의 분포와 모서리로부터의 주입에 의한 가스 분포가 비슷한 경향을 가지는 것을 확인할 수 있다. 가스가 만약 웨이퍼 위의 샤워헤드 또는 반응기의 모서리를 통해 주입된다면, 결과에서 가스 흐름의 분포는 항상 모서리부분의 높고 중앙이 낮다는 것을 확인하였다. 그러나 중앙으로부터 가스가 주입되면 웨이퍼 위의 가스 흐름의 분포 경향이 바뀌게된다. 가스 흐름 분포의 반대의 결과(즉, 중앙이 높고 모서리가 낮은)는 반응기의 가스 주입 위치를 변화시킴으로 얻어진다. 이런 조건에서는 어떠한 반응기 모델에서도 25 % 이상의 나쁜 가스 흐름 균일도가 얻어진다. 여기서 시뮬레이션 된 모델의 반응기 넓이는 300 mm이고 전극의 높이는 150 mm이다. 그리고 전극 위의 클램프는 사용하지 않았다고 가정하였다. 본 시뮬레이션에서는 가스 압력에 의한 가스 흐름의 변화에 대한 연구는 하지 않았다.

그림 3은 150 mm GaAs 웨이퍼 식각 공정에서 반응기의 가스 흐름 분포에 대한 0.5 cm × 0.5 cm 크기의 클램프의 효과에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 웨이퍼를 고정시키기 위한 클램프의 사용이 가스 흐름에 영향을 준다는 것이 밝혀졌으며, 시뮬레이션 결과에서는 클램프의 높이와 크기가 반응기내에서 웨이퍼 위의 가스 흐름 분포를 조절하는데 중요한 역할을 하는 것이 확인되었다. 그림 3에서 보면 가스가 샤워헤드로부터 주입될 때, 클램프를 사용함으로써 클램프 근처에서 가스 흐름의 최대량을 감소시키는 효과를 발생시켜 전체 가스 흐름 균일도를 향상시키는데 도움을 주는 것을 알 수 있다. 그러

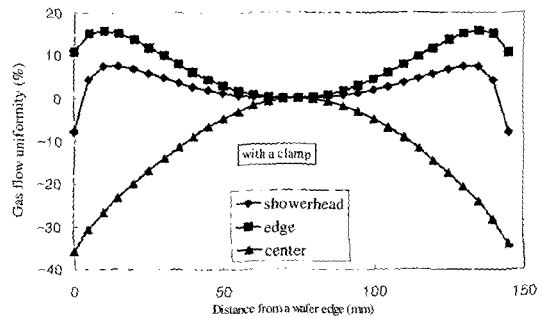


그림 3. 클램프를 사용했을 때 150 mm 웨이퍼 모서리로부터의 거리에 따른 가스 흐름의 균일도.

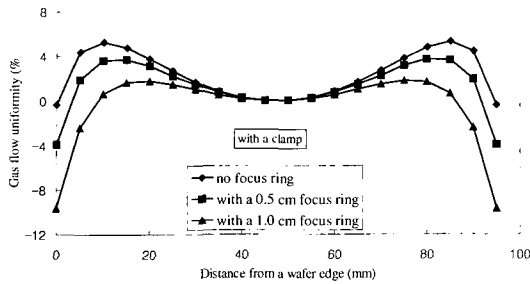


그림 4. 클램프와 포커스 링을 사용했을 때 100 mm 웨이퍼 모서리로부터의 거리에 따른 가스 흐름의 균일도의 시뮬레이션 데이터.

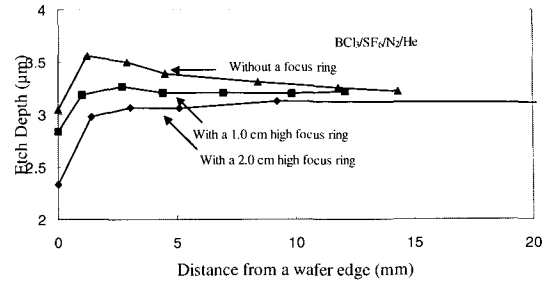


그림 5. 클램프를 사용하여 100 mm GaAs 웨이퍼의 BCl₃/N₂/SF₆/He ICP 플라즈마 식각 후 웨이퍼 모서리부터 거리에 따른 식각 깊이 분포의 측정 데이터.

나 만약 가스가 전극 위의 중앙에서부터 반응기로 주입되면 가스 흐름 균일도는 보다 나빠지게 된다.

그림 4에서는 100 mm 지름의 웨이퍼 위의 가스 흐름의 분포를 시뮬레이션 한 결과를 보여준다. 가스는 반응기의 모서리로부터 주입되었으며 클램프가 사용되었다. 결과를 보면 중앙보다 모서리에서 가스 흐름이 더 컸으며 전체 가스 흐름의 균일도는 ± 6 %이었다. 중요한 점은 웨이퍼 근처의 포커스 링의 사용은 가스 흐름의 균일도를 감소시킬 수 있다는 것이다. 결과에서는 전극 위의 고정된 크기와 높이를 가진 클램프의 최적화된 위치를 알 수 있었다. 만약 포커스 링이 너무 높다면 가스 흐름의 균일도가 더 나빠진다. 본 실험에서는 실험의 편리성을 위하여 가스 흐름이 고정된 후에 파워가 인가되어 생성된 플라즈마 분포의 균일도에 의한 식각 균일도에 대한 영향은 크지 않을 것으로 가정하였다. 그러나 향후에는 현 모델을 발전시킨 진보된 반응기내의 가스 흐름의 모델이 연구될 것이다.

시뮬레이션 결과와 실제 실험 결과를 비교하였다. 그림 4과 그림 5의 비교는 GaAs 웨이퍼 식각에서의 식각 깊이 균일도와 가스 흐름의 분포 시뮬레이션이 매우 잘 일치함을 보여준다. 실험에서 GaAs 웨이퍼의 식각 가스(BCl₃/N₂/SF₆/He)는 모서리로부터 주입되었다. 유전체로 이루어진 여러 다른 높이의 포커스 링들이 연속적으로 실험에 사용되었다. 결과에서 식각 깊이의 분포가 이들의 가스 흐름의 분포와 매우 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 여기서 최적화된 높이의 포커스 링이 식각 균일도의 향상을 위해 사용되었다. 반응기내에서의 가스 흐름을 조절하기 위

해서 포커스 링을 사용하였다. 그림 5에서는 식각 균일도가 클램프와 포커스 링의 위치의 최적화를 통해 현저하게 좋아질 수 있음을 보여준다.

그림 6은 클램프의 크기에 따른 가스 흐름의 균일도를 보여준다. 시뮬레이션 상에서 샤워헤드를 통해 가스가 주입된 상태일 때 최고의 가스 흐름의 균일도 형태를 얻었다. 결과에 따르면, 반응기와 전극의 치수가 고정되어있어도 클램프의 크기뿐만 아니라 클램프의 높이의 변화에 의해 가스 흐름의 균일도가 변화했다. 가장 우수한 균일도가 반응기내에서의 웨이퍼로부터 1.0 cm 위치의 클램프에서 나타난 것은 주목할만하다. 시뮬레이션에서 클램프의 두께는 0.5 cm로 고정되었다. 따라서 실제로 뛰어난 균일도를 얻기 위해서는 각각의 상이한 웨이퍼들의 두께를 고려해서 클램프 높이를 최적화 해 주어야 한다. 결과에서 보면 가스 흐름의 균일도가 웨이퍼의 모서리 첨단에서도(<2 mm) ± 1.5 %만큼 낮게 감소 할 수 있음을 보여준다.

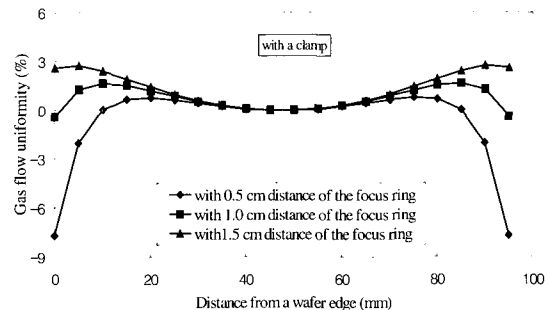


그림 6. 100 mm 웨이퍼 모서리로부터의 거리에 따른 가스 흐름 균일도의 시뮬레이션 데이터.

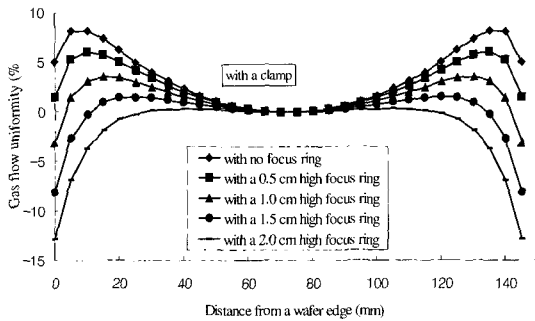


그림 7. 150 mm 웨이퍼 모서리부터의 거리에 따른 가스 흐름 균일도의 시뮬레이션 데이터.

150 mm (6 inch) 지름의 GaAs 웨이퍼 위의 가스 흐름의 분포가 위의 실험들에서와 같은 반응기와 전극조건에서 시뮬레이션 되었다(그림 7). 여기서는 샤워헤드를 통해 반응기로 가스가 주입되었다. 결과를 보면, 웨이퍼에서 가스 흐름의 분포가 $\pm 3\%$ 만큼 낮아질 수 있었다. 이것은 100 mm 지름의 웨이퍼의 $\pm 1.5\%$ 로부터 증가한 것이지만 이 데이터 역시 매우 좋았다. 만약 실제 150 mm 웨이퍼 공정에서도 식각 깊이의 분포가 이와 같은 경향을 따라간다면, 150 mm 웨이퍼에서 모서리 침단에서도(<3 mm) 3%의 식각 깊이 균일도를 가질 수 있을 것으로 예상된다. 시뮬레이션 결과에서 300 mm 넓이의 반응기가 150 mm 웨이퍼에서도 매우 좋은 가스 흐름 균일도를 제어할 수 있음을 확인하였다. 실제적인 공정에서 반응기내에서 가스 흐름의 균일도를 유지하는 것은 대면적의 웨이퍼의 공정에서 필요조건으로 중요하다. 그러나 또한 이번 연구에서 거론하지 않은 플라즈마의 균일도와 압력의 변화에 대한 최적화 또한 식각 분포의 균일도를 향상시키는데 매우 중요한 변수 임에는 틀림없다. 우리들은 그에 대한 추가적인 연구를 지속적으로 추진할 것이며 미래에는 통합된 모델이 제시될 수 있도록 노력하겠다.

4. 결 론

우리는 대면적 GaAs 웨이퍼의 건식 식각에서 식각 깊이 분포의 실험적 데이터와 시뮬레이션된 가스 흐름 균일도를 비교했다. 결과들에서 $\text{BCl}_3/\text{N}_2/$

SF_6/He 가스를 사용한 GaAs의 식각 깊이의 경향이 유한차분수치법(Finite Difference Numerical Method)에 의해 시뮬레이션 된 가스 흐름의 분포 궤적을 따라감을 볼 수 있다. 이것은 반응기내의 최적화된 가스 흐름 분포가 대면적 GaAs 웨이퍼의 플라즈마 식각에서의 뛰어난 식각 깊이의 균일도를 얻는데 매우 중요함이 확인되었다. 최적화된 클램프와 포커스 링의 사용은 150 mm GaAs 웨이퍼의 $\text{BCl}_3/\text{N}_2/\text{SF}_6/\text{He}$ 플라즈마 식각에서 좋은 균일도를 얻을 수 있게 도와준다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 산학협력연구(관리번호 : 2001-30100-009-1)지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] F. Ren, J. W. Lee, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, C. Constantine, C. Barratt and R. J. Shul, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 2410 (1997).
- [2] K. K. Ko, S. W. Pang and M. Dahimene, *J. Vac. Sci. Technol. A* **14**, 2020 (1996).
- [3] See, for example, M. A. Hollis and R. A. Murphy, in *High-Speed Semiconductor Devices*, edited by S. M. Sze, (Wiley, New York, 1990) chapter 4.
- [4] D. C. Hays, H. Cho, J. W. Lee, M. W. Devre, B. H. Reelfs, D. Johnson, J. N. Sasserath, L. C. Meyer, E. Toussaint, F. Ren, C. R. Abernathy and S. J. Pearton, *Appl. Surf. Sci.* **156**, 76 (2000).
- [5] "Current Trend in Heterojunction Bipolar Transistors" Ed. M. F. Chang, (World Scientific Publishing, Massachusetts, 1996).
- [6] J. Etrilliard, F. Helio, P. Ossart, M. Jubel, G. Patriarche, P. Carcenac, C. Vieu, M. Peuch, P. Maguin, *J. Vac. Sci. Technol. A* **14**, 1056 (1996).
- [7] R. J. Shul, G. B. McClellan, S. J. Pearton, C. R. Abernathy, C. Constantine, C. Burrabb, *Electron. Lett.* **32**, 1408 (1996).
- [8] J. Sitch, *Solid-State Electron.* **41**, 1397 (1997).

- [9] Y. Ota, S. Yamamoto, T. Yokoyama, H. Masato, M. Nishitsuji, M. Yanaghira and K. Inoue, *Solid-State Electron.* **41**, 1675 (1997).
- [10] J. W. Lee, M. W. Devre, B. H. Reelfs, D. Johnson, J. N. Sasserath, F. Clayton, D. Hays, S. J. Pearton, *J. Vac. Sci. Technol. A* **18**, 1220 (2000)