

김 상 배* (한국과학기술원)
권 영 세 (한국과학기술원)

1. 서 론

광소자와 전자소자를 하나의 기판위에 집적시켜야 하는 광전집적회로는 집적기술의 관점에서 두가지로 대별될 수 있다. 하나는 주된 광소자인 레이저 다이오드와 주 전자소자인 트랜지스터를 똑같은 구조로 만들고, 동작조건을 바꾸어 전자소자로도 사용하고 광소자로도 사용하는 방법으로 이형접합바이폴라트랜지스터를 기본소자로 하는 구조가 그 예이다. 이 경우에는 제작공정은 간단하지만 광소자와 전자소자의 구조를 독립적으로 최적화할 수 없는 단점이 있다. 이에따라 이 독립적인 최적화를 위해 광소자와 전자소자를 독립적으로 제작하기 위한 방법이 요청되어 선택적 식각,¹ 선택적 에피택시²⁻⁵ 및 반절연층 에피택시⁶⁻⁷ 등이 연구되어왔다.

이 중 비소화갈륨의 선택적 액상 에피택시는 비 반응성의 유전막을 에피택시 마스크로 사용하여 비소화 갈륨의 단결정 기판이 노출되어 있는 부분에만 에피층을 성장시키는 방법으로 많은 응용연구에 비해 성장기구에 관한 연구는 부족한 실정이다. 소자제작을 위해서는 결정성장기구에

대한 이해가 중요하므로 이 논문에서는 성장기구 및 형태에 관한 수치해석 및 실험 결과를 제시한다. 2절에서는 균온확산이론⁹에 근거한 2차원 확산방정식을 풀 결과를 보이고 이 결과를 기초로 하여 3절에서는 실험결과로부터 2차원 핵생성에 의한 성장기구를 제안하였다.

2. 확산에 의해 결정되는 성장 ; 수치해석 결과
갈륨을 용매로, 비소를 용질로 사용하고 흑연보우트를 쓰는 보통의 비소화 갈륨의 액상 에피택시는 두 가지의 연속과정으로 생각할 수 있다. 하나는 용액속의 비소원자가 비소화 갈륨의 단결정 기판 쪽으로 확산되는 과정이고 다른 하나는 확산된 비소원자가 비소화 갈륨 단결정 기판에 붙어 기판 위에서 갈륨원자와 결합되는 과정이다. 이 두 과정 중에서 비소원자의 확산에 의해 결정성장 속도가 결정된다는 것은 잘 알려진 사실이다. 특히 갈륨, 흑연등은 열전도율이 높은 재질이기에 때문에 일반적으로 비소화 갈륨의 액상 에피택시는 균온확산이론⁹으로 잘 설명되었다. 유전체 박막을 에피마스크로 쓰는 선택적 액상

에피택시의 경우에서도 갈륨용액 속에서는 비소 원자가 확산에 의해 에피층이 길러질 창부분으로 이동할 것이므로 적절한 경계조건을 부과하여 확산방정식의 해를 구하는 것은 매우 유용한 결과를 줄 것으로 기대된다. 그림 1은 이차원의 확산방정식의 수치해법에 의한 해를 보여주고 있다.

이 수치해석의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 창사이의 간격이 확산거리보다 작을때는 확산에 의해 전달된 비소원자의 양은 보통의 액상 에피택시에 비해 거의 창간격 대 창넓이의 비율 만큼 증가하며 똑같은 시간 의존성을 갖는다. 따라서 전달된 비소원자의 양은 그림 2에서 보인것 처럼 창넓이에 무관하게 거의 일정하다.
- 2) 창의 넓이가 좁을 때에는 1)의 결론과 차이가 생기는데 그 이유는 창의 좁을 경우에는 비소원자를 흡인하는 능력이 작기 때문이다.
- 3) 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼 옆으로 부터의 확산때문에 창의 가장자리 부분에서의 확산이 증가하여 에피층이 두껍게 길러질 것이다.
- 4) 창사이의 간격이 확산거리보다 길때에는 확산거리 대 창넓이의 비율만큼 확산에 의한 물질전달이 증가한다.
- 5) 용액에서 비소원자의 확산은 등방성이므로 결정방향등에 의한 비등방성의 현상은 기대할 수 없다.

3. 실험 결과 및 토의

약 750 옴스토크롬 두께의 스퍼터링된 이산화 실리콘을 에피마스크로 사용하여 (100) 비소화

갈륨 웨이퍼에 의도적인 불순물이 첨가안된 비소화 갈륨 에피층을 평형 냉각방법으로 길렀다. 실험에 쓰인 마스크의 모양은 길러지는 에피층의 방향 의존성을 관찰하기 위한 여러방향의 좁고 긴 선모양 창의 것과 각 결정면의 상대적인 성장속도를 측정하기 위한 동심원환의 창을 갖는 형태의 것이다.

그림 3은 방사형의 스트라이프 창에 길러진 에피층의 모양을 보여주고 있다. 이 결과로부터 2절에서의 결론 5)와는 달리 방향성을 갖는 것을 알 수 있다. $\{110\}$, $\{100\}$ 방향의 창에는 균일한 넓이와 두께와 에피층이 길러지며 이 에피층은 $\{100\}$, $\{111\}$ 면등 저지수 결정면들로 둘러싸여 있다. 반면에 이 저지수 방향에서 약간 틀린 창에는 저지수면들로 분해된 모양의 결정이 성장되며, 그 이외의 스트라이프에는 간격이 넓은 부분은 창보다도 훨씬 넓게 옆으로 길러지고 그 넓이는 창사이의 간격이 좁아짐에 따라 줄어들음을 보여주고 있으며 그 단면은 원형에 가깝고 표면은 굴곡이 심하다. 굴곡이 심하지 않은 표면은 $\{100\}$ 면으로 스트라이프의 끝 부분에 계단이 져 있는 것을 볼 수 있다. 그림 4)는 원환에 길러진 에피층의 모양으로 바깥부분의 가장자리는 $\{100\}$, $\{111\}$ 결정면으로 이루어져 있고, $\{100\}$ 기판의 대칭성을 보이는 반면, 안쪽은 원형을 유지하고 있음을 보여주고 있다.

이러한 결과로부터 선택적 액상 에피택시에서의 여러현상들은 보통의 에피택시에서 처럼 비소의 확산만으로는 설명할 수 없고 에피층 표면에서의 반응을 고려해야만 됨을 알 수 있다. 즉 저지수면들에서는 표면반응에 의한 과정이 두드

러지며 이러한 면들에서는 2차원 핵생성에 의한 계단의 이동에 의해 결정이 성장됨을 보여준다. 그 외의 고지수면들에서는 보통의 에피택시에서처럼 확산에 의해 결정성장 속도가 결정된다. 이러한 현상들은 2절에서 보인것 처럼 옆으로부터의 확산에 의한 물질전달의 증가에 의해서 나타날 수 있었으며, 따라서 창모양대로 에피층을 기르기 위하여는 창의 가장자리는 저지수 방향이어야 하며, 이러한 창에 걸려진 에피층은 매우 깨끗한 표면을 가지므로 광전집적회로에 매우 유용하다.

참 고 문 헌

- Shlomo Margalit and Amnon Yariv, "Semiconductors and Semimetals", Vol.22, part E, Ch.2, Academic Press, Florida, 1985.
- D.W. Bellavance et al, "Selective liquid phase epitaxy for integrated optical circuits", Gallium Arsenide and Related Compounds, Inst. Phys. Conf. Ser. No.33b, pp.81-87, 1977.
- M.E. Kim et al, "GaAs/GaAlAs selective MOCVD epitaxy and planar implantation technique for complex integrated optoelectronic circuit applications", IEEE Electron Device Letters, Vol.EDL-5, No. 8, pp.306-309, Aug. 1984.
- A-z. Li et al, "Aspects of GaAs selective area growth by molecular beam epitaxy with patterning by SiO₂ masking", J. of Electrochem. Soc., Vol.130, No. 10, pp.2072-2075, Oct. 1983.
- F.W. Tausch, Jr. et al, "A novel crystal growth phenomenon: single crystal GaAs overgrowth onto silicon dioxide", J. of Electrochem. Soc., Vol.112, No. 7, pp.706-709, July 1965.
- Mutsuyuki Otsubo et al, "Liquid phase epitaxial growth of semi-insulating GaAs crystals", ibid Vol.124, No.3, pp. 441-447, March, 1977.
- S.J. Bass, "Growth of semi-insulating epitaxial Gallium Arsenide by Chromium doping in the Metal-alkyl+Hydride system", J. of Crystal Growth, Vol.44, pp. 29-33, 1978.
- C.P. Lee et al, "Low threshold room-temperature embedded heterostructure lasers", Appl. Phys. Lett., Vol.29, No. 6, pp.365-367, Sept. 1976.

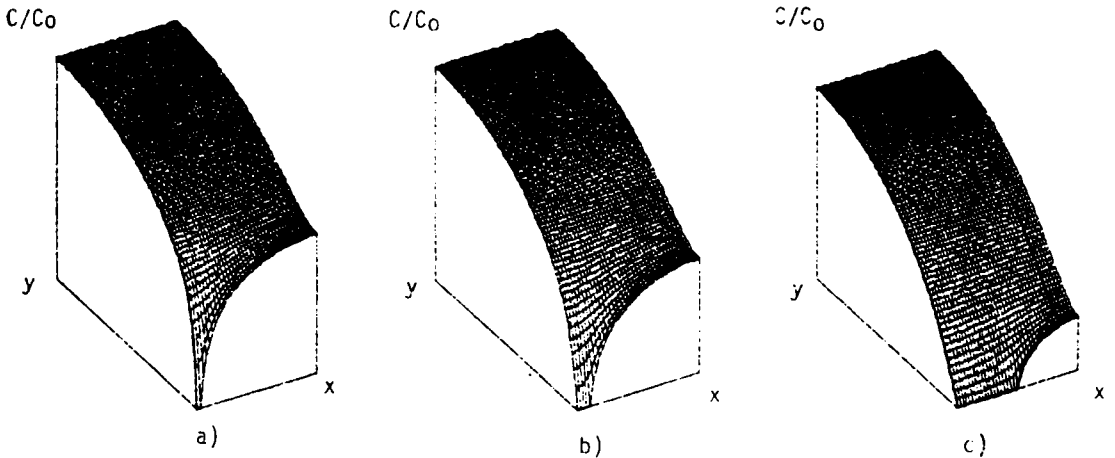


그림 1. 균온확산이론에 기초하여 2차원 확산방정식을 풀어서 구한 비소연자의 용액속에서의 농도분포. 창넓이는 a) 10um b) 40um c) 190um 이다.

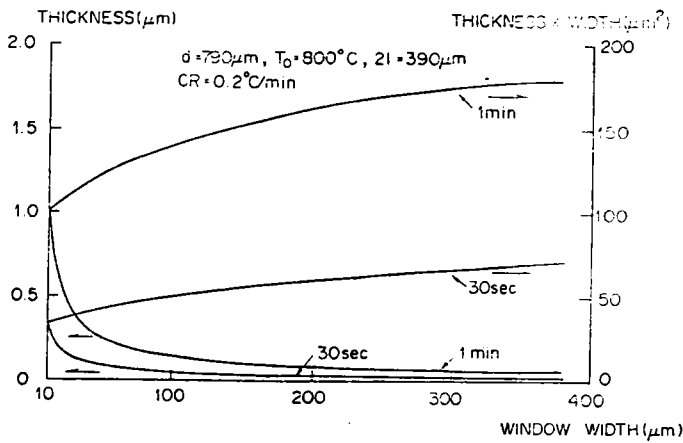


그림 2. 에미층의 평균두께 및 단면적의 창넓이에 따른 변화.

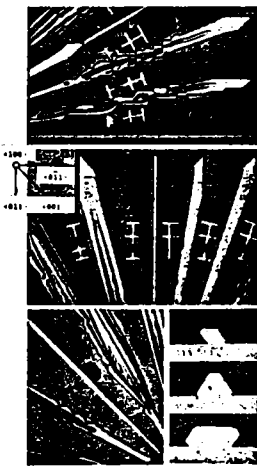


그림 3. 방사 스펙트럼에 길러진 에미층의 표면 및 단면 현미경 사진.

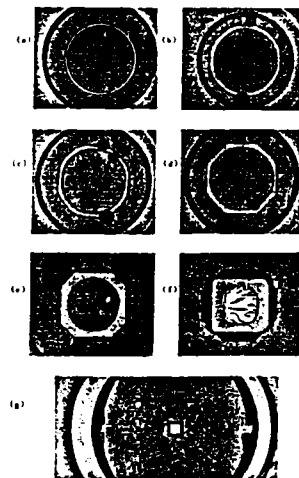


그림 4. 연환에 길러진 에미층의 표면 현미경 사진. (a) → (g)의 순서로 모양이 변화한다.