

Calculations of Molecular Beam Flux in the MBE System

윤경식*, 김은규**, 민석기**

* 고려대학교 정보공학과

** 한국과학기술연구원 반도체재료연구실

서론

MBE(Molecular Beam Epitaxy)장치는 에피층의 성장공정을 정확히 제어할 수 있으므로, 에피층의 균일한 두께가 요구되는 MQW LD, HEMT, Resonant Tunneling Diode와 같은 신기능 첨단소자의 개발과 제조에 필수적 장비이다. MBE 장치에서 성장시키는 에피층의 두께 균일도는 분자선원(Molecular Beam Source)과 기판(Substrate)의 상대적 배치관계 뿐만 아니라 crucible의 모양에도 크게 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 3인치 웨이퍼 상에 성장시킨 에피층의 두께 균일도를 분자선원과 기판의 배치와 crucible의 tapering angle을 시뮬레이션하여 수치계산한 후, 이로부터 MBE장치의 성장 chamber 설계에 필요한 최적 제원을 얻고자 한다.

계산 방법

기판상의 한 점 P에 입사하는 분자선 flux는 분자선원으로부터 직접 입사하는 것과 crucible의 벽에 충돌한 후에 입사하는 것의 합으로 다음과 같이 주어진다 [1,2].

$$F = \int_s \frac{E_s(n'.v)(-n.v)}{\pi(v.v)^2} da' + \int_w \frac{E_w(n''.v)(-n.v)}{\pi(v.v)^2} da''$$

여기서 E_s 는 분자선원 표면상의 점 P'에서 방출되는 분자들의 면적율이고, E_w 는 crucible의 벽위의 점 P''에서 방출되는 분자들의 면적율이다. n, n', n'' 은 각각 점 P, P', P''에서 표면에 수직인 단위법선이며, v 는 위식의 첫째항에서 점 P'에서 점 P로 향하는 벡터이고, 둘째항에서는 점 P''에서 점 P로 향하는 벡터이다. 그리고 da' 와 da'' 는 점 P'과 P''를 포함하는 요소의 넓이다. 점 P''에서 방출되는 flux는 바로 그점에 입사하는 flux와 같다고 가정한다. 본계산에서는 기울어진 crucible에서 분자선원의 표면적의 변화는 flux분포에 크게 영향을 미치지 않으므로 무시하였다[3]. 따라서, crucible의 벽에서 재방출되는 비율은 crucible 중심축에 대하여 대칭적이며 깊이만의 함수로 가정하여 자체일관적(self-consistent)으로 계산하였다.

계산 결과

본 연구에서는 변의 길이가 8cm인 정사각형의 기판과 깊이는 8.1cm이고 개구의 반경은 1.4cm인 crucible을 사용하였다.

기판과 tapering angle이 7.5° 인 crucible 입구까지의 거리를 20cm로 고정된 후, 기판의 수직축과 기판의 중앙을 향하는 crucible중심축이 이루는 각도를 매개변수로 10°에서 40°까지 10°씩 변화시켰다. 기판회전을 시뮬레이션하여 계산한 에피층의 두께를 최대 두께로 정규화시킨 기판의 중앙을 가로지르는 단면을 그림 1에 도시하였다.

같은 제원의 crucible을 사용하여, crucible의 중심축을 기판 수직축과의 각도를 25°로 고정된 후 기판과 crucible 입구까지의 거리를 매개변수로 10cm, 15cm, 20cm,

30cm, 40cm로 변화시켜 성장시킨 에피층의 두께를 계산하여 최대 두께로 정규화시킨 기판의 단면을 그림 2에 도시하였다.

그림 3은 기판과 crucible의 거리는 20cm, 기판 중앙을 향하여 crucible의 중심축을 25° 기울인 후 crucible의 tapering angle을 0° , 6° , 8° 로 바꾸어 계산한 결과이다.

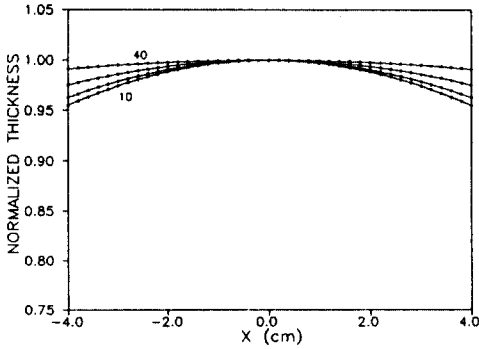


그림 1.

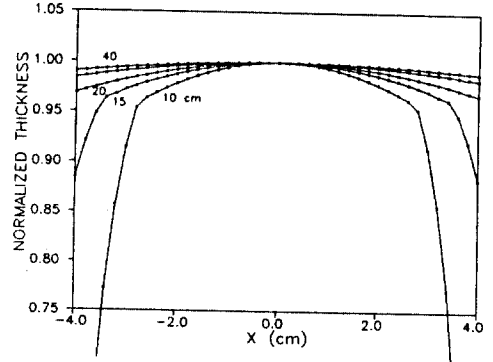


그림 2.

결론

위의 그림 1로부터 기판중앙과 crucible 중심축이 이루는 각이 10° 이상이면 기판 전체에서 5% 이내의 두께 균일도를 얻을 수 있으며, 40° 이상이면 1% 이내의 균일도를 얻을 수 있으나 성장 chamber가 커지게 된다. 그림 2에서 5%이내의 두께 균일도를 원한다면 기판과 crucible 입구와의 거리는 20cm 이상이 적절하며, 거리를 증가시킬수록 균일도는 향상되나 분자선원의 성장효율은 감소할 것이다. 그림 3에서 5%이내의 균일도를 원한다면 tapering angle은 6° 이상은 되어야 한다. 따라서, 기판전체에서 5% 이내의 두께 균일도를 얻으려면 기판과 crucible 중심축이 이루는 각은 20° 에서 30° , 거리는 20cm, tapering angle은 6° 이상이 적합한 것을 알 수 있다.

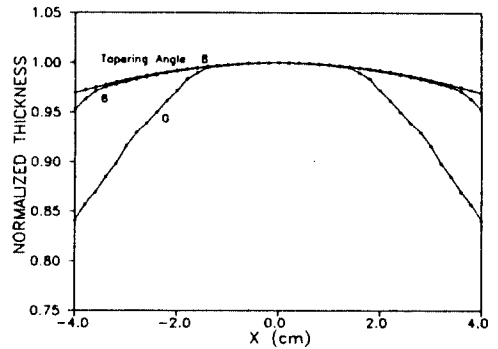


그림 3.

참고문헌

- [1] J. A. Curless, J. Vac. Sci. Technol. B 3(2), 531 (1985).
- [2] T. Yamashita, T. Tomita and T. Sakurai, Jpn. J. Appl. Phys. 26, 1192 (1987).
- [3] Z. R. Wasilewski, G. C. Aers, A. J. SpringThorpe and C. J. Miner, J. Vac. Sci. Technol. B 9(1) 120 (1991).