

Numerical study of the influence of inlet shape design of a horizontal MOCVD reactor on the characteristics of epitaxial layer growth

Soo-Jin Jeong[†] and So-Jung Kim

Dept. of Automotive Engineering, Donghae University, Gangwon 240-713, Korea

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Donghae University, Gangwon 240-713, Korea

(Received August 19, 2003)

(Accepted September 30, 2003)

Abstract In this study, a numerical analysis of the deposition of gallium arsenide from TMGa and arsine in a horizontal MOCVD reactor is performed to investigate the effect of inlet diffuser shape of reactor on the flow and deposition characteristics. The effects of two geometric parameters (diffuser angle, diffuser shape) on the growth rate, growth rate uniformity, flow uniformity and pressure loss are presented. As a results, it is found that the optimum linear diffuser angle is in the range of 50° ~ 55° and parabolic diffuser in the range of 40° ~ 45° from the viewpoint of growth rate uniformity, flow uniformity and average growth rate. It is also found that variation of diffuser angle has greater impact on growth rate uniformity than average growth rate particularly in parabolic diffuser.

Key words MOCVD, CFD (Computational Fluid Dynamics), Growth rate uniformity, Flow uniformity

수평 화학기상증착 반응기의 입구형상 설계가 단결정 박막증착률 특성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

정수진[†], 김소정

동해대학교 자동차공학과, 동해, 240-713

동해대학교 전기전자공학과, 동해, 240-713

(2003년 8월 19일 접수)

(2003년 9월 30일 심사완료)

요약 본 연구에서는 반응기의 유입 확대부의 형상이 반응기 내의 유동 및 증착특성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 수평형 MOCVD 반응기에서 TMGa와 AsH₃로부터의 GaAs 증착에 관한 수치적 연구를 수행하였다. 두 개의 기하학적 인자(확대각, 확대부 형상)가 증착률, 증착률 균일도, 유속 균일도, 압력강하에 미치는 영향을 연구하였다. 웨이퍼 위에서의 증착률 균일도, 평균증착률, 유속 균일도를 고려한 결과, 직선형 확대부의 최적 확대각은 50° ~ 55° 이며 포물선형 확대부의 경우, 40° ~ 45° 이다. 또한 확대부의 확대각의 변화는 평균증착률 보다 증착률의 균일도에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 직선확대부보다 포물선형의 확대부에서 더 민감하게 나타남을 알 수 있었다.

1. 서론

정교하고 대용량인 멀티웨이퍼는 InP 레이저, HBT와 HEMT 관련 장치와 같은 광전자장치에 사용되는 다양한 III-V족 및 II-VI 족 반도체 화합물의 화학증착을 위하여 개발되어 사용되어지고 있다. 이러한 반응기들은 동시에 여러개의 2~6" 웨이퍼들에 박막 성장을 시킬 수 있다. 그러나 이러한 멀티웨이퍼들은 효율적인 작동이 어려우

며 복잡한 유동특성과 웨이퍼의 회전으로 인하여 박막성장속도와 균일도가 긴 시간동안의 시행오차법에 의하여 결정되어지는 단점을 지니고 있다. 또한 복잡한 유동 제어 및 웨이퍼의 회전과 관련된 특허료와 정교한 설계로 인하여 멀티웨이퍼의 가격이 매우 높다는 것도 큰 단점이다.

마이크로전자칩과는 다르게 오늘날의 광전자장치들은 짧은 개발기간, 수명 그리고 다양한 설계 및 제조방법에 의해서 특성 지워진다. 결과적으로 광전자 웨이퍼의 요구량은 연간 수천개 수준이다. 이러한 소량의 요구량에 대용량의 멀티웨이퍼 반응기를 사용한다는 것은 매우 비경제적이다. 더욱이 짧은 수명의 생산품을 위해 대용량

[†]Corresponding author

Tel: +82-33-520-9314

Fax: +82-33-521-9407

E-mail: adolf@mail.donghae.ac.kr

의 반응기를 많은 시간을 들여 최적화 시킨다는 것은 시간낭비이기도 하다. 중소 생산요구량에는 유동제어 및 작동이 보다 간단한 반응기가 적당하다.

지난날에는 단일 웨이퍼 수평형 반응기들은 주로 실험실에서 반도체 화합물의 MOCVD 성장을 위하여 사용되어졌었다. 단순성에도 불구하고 수평형 반응기는 다른 여타의 MOCVD 반응기 종류 중에서 비교적 높은 성장효율을 지니고 있다. 수평형 반응기의 높은 성장효율은 원재료의 가격과 생산량이 주요 관심사인 III-V족 화합물의 대량생산에 매우 적합한 특성이다. 연간 수천개의 중소량의 생산규모를 가지고 있는 경우, 2~4" 크기의 단일웨이퍼가 적당하다. 또한 수평형 반응기는 다른 형태의 반응기에 비해 가격이 저렴하며 성막속도 및 박막 균일도 제어가 용이하다. 그러나 중소량 생산에 사용될 수평형 MOCVD 반응기는 최적화되어 있지 못한 상태이다. 따라서 이에 대한 최적화가 시급한 상태이다.

유기금속 화학증착로 내의 성막특성에 대한 연구는 오래 전부터 열유체공학적 관심의 대상이었다. 왜냐하면 화학증착은 열전달, 유체유동, 물질전달 그리고 균질 및 비균질 화학반응이 강하게 연계되어있기 때문이다. 이와 관련되어 화학반응로의 최적화를 위하여 많은 수치적 연구가 수행되어졌는데 특히 수평형 반응로의 경우 반응면의 경계층 제어를 위한 형상개선이란 한 분야에 집중되고 있다. 수평형 MOCVD 반응기에 대한 연구 항목은 채널 높이와 측면의 열경계조건의 변화, 반응면의 경사각, 웨이퍼의 회전속도, 유입 반응물의 농도, 유입가스의 유량, 반응면의 폭길이의 변화가 증착물에 미치는 영향 등이다[1-7]. 해석목적은 대부분 박막의 정밀도 향상을 위한 웨이퍼 표면의 보다 균일한 증착률을 얻을 수 있는 반응로의 기하학적 형상과 운전조건을 결정하는 것이다. 최근들어 3차원 모델에 많은 화학반응 단계를 포함한 해석이 수행되어진 바 있으나[6], 컴퓨터의 기억용량 등 실질적인 어려움이 있어 대부분 성막특성을 물질전달 율속단계로 가정하여 계산하고 있다[5-7].

그러나 작동유체의 유입로 형상이 증착물에 미치는 영향에 관한 연구는 상당히 미약한 실정이다. Goodings[8] 등이 포물선형 유입로를 사용하여 유입로의 길이를 직선 형태의 경우보다 60% 정도 단축시킬 수 있었음을 보고하였다. 그러나 이 연구는 유동가시화기법을 사용한 실험적 논문이며 최적상태를 판단하기 위한 정량적인 기준은 제시하고 있지 않다.

따라서 본 논문에서는 수소가스를 운반가스로 사용하고 TMGa(trimethylgallium)과 AsH₃로부터 GaAs를 적층하기 위한 2" 웨이퍼를 장착한 수평형 MOCVD 반응기의 유입로를 최적화 시키기 위하여 실 운전조건 하에서의 유입 확대각 및 형상변화(직선형 및 포물선형 확대부)가 웨이퍼 표면에서의 증착물의 균일도 및 유동특성

에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 반응기내에서 발생하는 열, 유동 및 물질거동을 3차원적으로 고려한 전산유체역학기법(CFD: Computational Fluid Dynamics)을 사용하였다.

2. 수치해석

2.1. 지배방정식

본 연구에서는 반응기 안의 화학적으로 반응하는 혼합가스를 정상상태 3차원 압축성 Navier-Stokes 방정식으로 고려하였으며 관련 지배방정식들은 아래와 같다.

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + 2\nabla \cdot (\mu \mathbf{S}) - \frac{2}{3} \nabla (\mu \nabla \cdot \mathbf{V}) \quad (2)$$

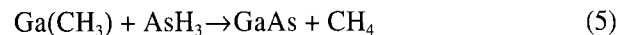
$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V} c_p T) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V} x_i) = \nabla \cdot (\rho D_i \nabla x_i) \quad (4)$$

여기서 \mathbf{V} 는 속도벡터, T 는 온도, p 는 압력, \mathbf{S} 는 변형률 텐서($\mathbf{S} = 1/2[\nabla \mathbf{V} + \nabla \mathbf{V}^T]$), \mathbf{g} 는 중력가속도벡터 그리고 c_p 는 정압비열을 의미한다. 동점성계수, μ , 그리고 열전도 계수, λ 는 온도의 함수로 계산하였으며[9], 밀도는 가스상태방정식으로부터 구하였다. x_i 는 화학종 i 의 질량분율을 의미하며 D_i 는 화학종 i 의 운반가스로의 확산계수를 의미하며 이는 압력과 온도의 함수이다[9].

2.2. 화학반응

MOCVD에 의한 III-V족 화합물의 성장을 계산하기 위해서 본 연구에서는 반응면 위에서의 화학반응을 아래와 같은 단일단계 화학반응으로 고려하였다.



기존의 연구[3, 5]로부터 상용운전조건에서 성막속도는 물질전달 율속단계이므로 TMGa를 GaAs의 비균질 증착의 한계 반응물질로 고려하였다. 반응면 위에서의 비균질 화학반응은 아래식과 같이 표현될 수 있다.

$$-\rho D_i \frac{\partial x_i}{\partial n} = R_i \quad (6)$$

여기서 n 은 반응면에 수직한 거리이며 R_i 는 화학종 i (TMGa)가 소멸, 생성되는 화학반응률이다. 이 식은 이산화되어 반응면으로의 화학종 i 의 질량유속과 벽면과 인접한 셀 중앙에서의 농도를 연계하는데 사용되어진다. 이때 화학반응률은 아래와 같은 Langmuir-Rideal 형식

의 식을 사용하였다.

$$R_i = k_i x_i P^n \quad (7)$$

여기서 반응상수 k_i 는 아래식으로 정의된다.

$$k_i = A e^{-(E/RT)} \quad (8)$$

여기서 $E = 270 \text{ KJ/mole}$, $APn = 0.6 \times 10_{14} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$ 이다.

2.3. 반응기의 형상 및 경계조건

본 연구대상인 수평형 MOCVD 반응기의 형상을 Fig. 1에 나타내었으며 각 치수는 입구직경으로 무차원시켰다. 반응기는 0.2 Bar의 낮은 압력을 유지하기 위하여 커다란 원통안에 놓여있다. 원통안에는 반응기의 표면을 냉각하고 반응기로의 다른 가스의 유입을 막기 위하여 수소가스가 흐른다. 유입구를 통하여 6 liter/min의 수소가스와 TMGa, AsH₃가 각각 95%, 2.5%, 2.5%의 질량분율로 유입된다. 기판 지지대(susceptor) 위에는 2" 웨이퍼가 놓여 있으며 이를 복사가열기(radiant heater)로 가열하여 표면온도를 873 K로 일정하게 가열한다.

Fig. 2에 본 연구에서 사용된 계산격자를 나타내었으며 총 98,000개의 육면체 격자가 사용되었다. 식(1)~(4)를 계산하기 위해서는 반응로의 벽, 기판 지지대, 유, 출입부에 적절한 경계조건이 필요하다. 따라서 운동량방정식(2)를 계산하기 위해서 유입부에 균일속도조건을 주었고 고체벽에서는 비점착, 비투과 조건을 지정하였으며

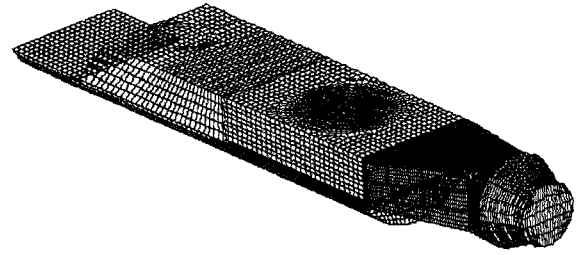


Fig. 2. Computational grids for horizontal MOCVD reactor.

출구에서는 속도구배를 영으로 지정하였다. 에너지 방정식(3)을 계산하기 위해서 유입부에서는 300 K의 일정온도를 지정하였으며 출구에서는 온도구배를 영으로 주었다. 기판 지지대 및 웨이퍼의 표면은 873 K의 일정온도를 사용하였으며 그 밖의 반응기 표면은 단열조건을 사용하였다. 농도방정식(4)를 계산하기 위해서 유입부에서는 H₂, TMGa, AsH₃의 각각의 질량분율을 지정하였다. GaAs의 비균질 증착은 TMGa가 한계반응물질이므로 AsH₃의 농도에 종속적이지 않고 Ga를 포함한 화합물의 농도에 지배를 받는다[3]. 따라서 기판 지지대 및 웨이퍼에서의 TMGa의 농도는 화학반응식(7)에 의하여 계산이 되며 AsH₃의 농도는 성막속도를 물질전달 율속단계로 가정하여 영으로 주었다. 나머지 고체벽면들과 유출부에서는 각 화학종의 농도구배를 영으로 주었다.

본 연구가 고려한 운전조건을 요약하면 입구 $Re(=u_m D_m/\nu)$ 수는 6.88이고, 채널 높이를 대표길이로 사용한 $Gr(=g\beta(T_H - T_C)/h^3 \nu^2)$ 는 617이며 따라서 Richardson 수($=Gr/Re^2$)는 13이다. 따라서 본 연구의 운전조건은 순수 강제대류나 순수 자연대류문제로 고려할 수 없는 혼합영역이다.

Fig. 1에 보인바와 같이 본 연구에서는 유입부의 확대각($\theta = \tan^{-1}(h/L)$)을 10°~60° 범위에서 변화시켰으며 또한 각각의 직선 확대부를 아래의 식(9)을 이용하여 포물선형으로 변화시켜[8] 각각의 경우에 대한 반응기의 증착 및 유동특성에 미치는 영향을 연구하였다.

$$y = y_0 / (cx^{0.95} + 1) \quad (9)$$

여기서 $c = -0.0122$ 이고 y_0 는 유입구의 직경이다.

본 연구에서는 증착률을 계산하기 위하여 기판 지지대 위에서의 화학반응속도가 물질전달 속도보다 매우빠른 물질전달 율속단계로 가정하여 아래의 식을 사용하였다.

$$w = \left(\frac{M_s}{M_R \rho_s} \right) \times j \quad (10)$$

여기서 M 은 분자중량, j 는 물질유속(mass flux) 그리고 하첨자 s 는 증착물질을, R 은 반응물질을 각각 나타낸다.

또한 웨이퍼 표면에서의 증착률 및 유속의 균일도를 계산하기 위하여 아래와 같은 지표를 설정하였다.

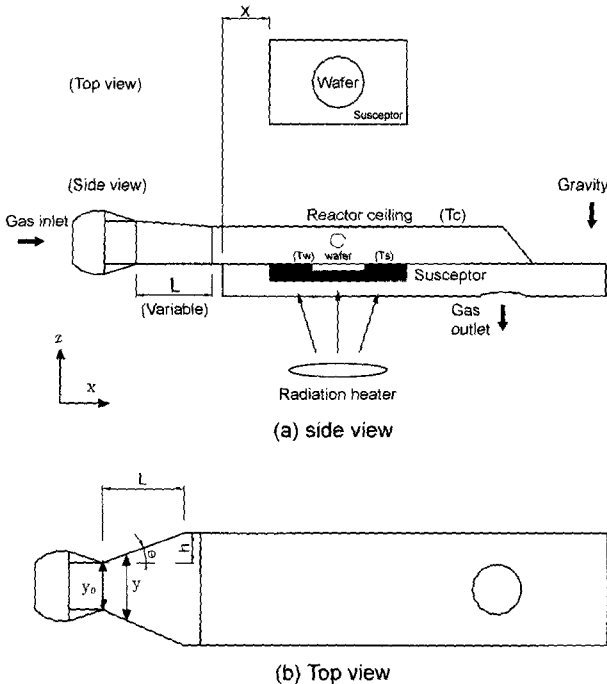


Fig. 1. Schematic diagram and dimensions of horizontal MOCVD reactor.

$$\gamma = 1 - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{(w_i - w_{\text{mean}})^2}}{w_{\text{mean}}} \quad (11)$$

이때 w_i 은 국부 속도 또는 증착률을 의미하며 w_{mean} 은 평균증착률 또는 평균속도를 의미하고 n 은 웨이퍼 표면을 구성하는 총 계산셀의 개수를 나타낸다.

본 연구에서는 수치해석을 위하여 상용 열유체프로그램인 STAR-CD[10]를 사용하였으며 표면 화학반응식 ((6)~(8))을 계산하기 위해서 Fortran 77을 사용한 부프로그램을 작성하여 STAR-CD와 연계시켰다. 압력과 속도의 연계는 SIMPLE[11]을 사용하였으며 확산항 및 대류항 차분에는 QUICK[11]을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구의 목표는 수평형 MOCVD 반응기에서 반응가스를 유입 시 유입관의 형상은 보통 확대부를 형성하게 되는데 이 확대부의 확대각 및 형상변화가 웨이퍼 표면의 증착률과 증착률의 균일도에 미치는 영향을 연구함과 동시에 유동특성을 분석하는 것이다.

Fig. 3에는 유입부의 확대부의 각도변화와 확대부를 직선에서 식(9)와 같은 포물선형으로 바꾸었을 경우에 나타나는 웨이퍼 표면의 증착률의 균일도 변화를 나타내었다. 직선형 확대부의 경우는 30°까지 각을 증가시키며 따라 점차 균일도가 향상되며 30° 이상에서는 확대각 증가에 따른 증착률 균일도의 변화가 미미하였다. 포물선형 확대부의 경우는 20°까지는 확대각 증가에 따라 증착률 균일도가 급격히 상승하나 20°~40°의 영역에서는 확대각 변동에 따른 균일도의 변화가 미미하였다. 그러나 45°의 경우, 균일도가 급격히 상승한다. 45° 이후의 각도 증가에 대한 균일도의 변동은 미약하였다. 확대각을 10°~

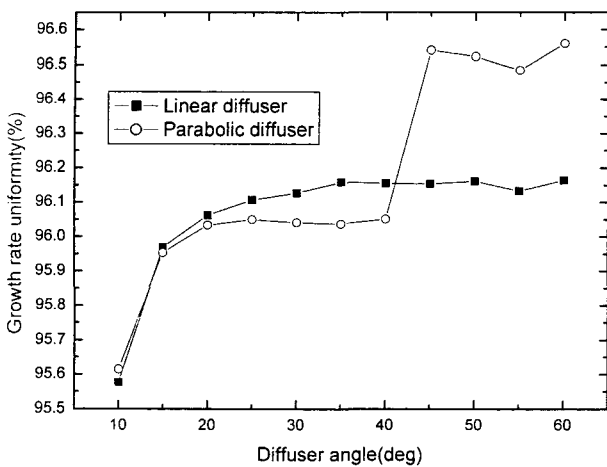


Fig. 3. Variation of growth rate uniformity with respect to diffuser angle.

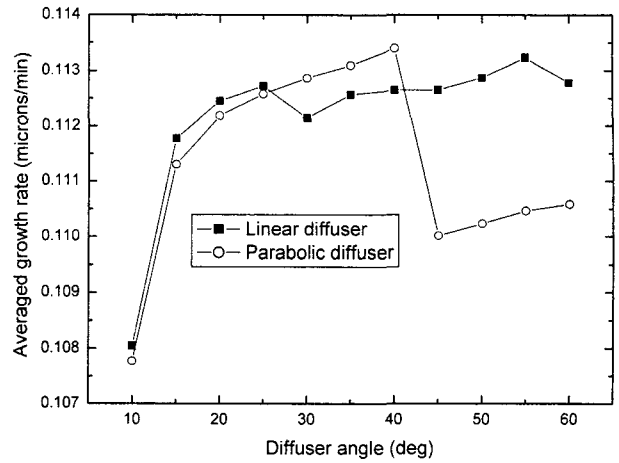


Fig. 4. Variation of averaged growth rate with respect to diffuser angle.

60°의 범위에서 변동시켰을 경우, 직선의 확대부의 경우는 확대각을 변화시키며 따라 최대 0.62%, 포물선 확대부의 경우는 0.99%의 증착률 균일도의 향상을 얻을 수 있었으며 확대각 변화에 따른 균일도의 표준편차는 직선 및 포물선의 경우 각각 0.17, 0.31으로 직선보다 포물선형 유입 확대부가 확대각 변화에 따른 증착률의 균일도의 변동폭이 크게 나타났다. 그림에서 볼 수 있듯이 포물선형의 확대부의 최대 균일도는 직선부의 최대 균일도보다 0.41% 높게 나타나고 있다. 이 결과로부터 직선형 확대부보다 포물선형 확대부의 각도변화에 따른 증착률 균일도의 민감도가 크다는 것을 알 수 있으며 이는 40°~45°의 확대각에서 큰 불연속이 존재하기 때문이다.

Fig. 4에는 직선 및 포물선형의 확대부의 확대각의 변화에 따른 웨이퍼 전체표면에서의 평균 증착률을 나타내었다. 직선형 유입확대부의 경우는 25°까지 각이 증가함에 따라 선형적으로 평균 증착률이 증가하다가 이후에는 증가율이 크게 완화되어 미미한 변동을 보이고 있음을 볼 수 있다. 이 경우 평균 증착률은 확대각을 변동시키며 따라 최대 4.8% 증가시킬 수 있었다. 포물선형의 확대부의 경우는 40°까지 각이 증가됨에 따라 평균 증착률이 증가하다가 45°에서 급격히 떨어져서 이후 미소한 증가가 이어진다. 이 경우 평균 증착률은 확대각을 변화시키며 따라 최대 5.23% 증가시킬 수 있었다. 확대각 변화에 따른 평균증착률의 표준편차는 직선 및 포물선의 경우 각각 0.0014, 0.0017로 직선보다 포물선형 유입 확대부가 확대각 변화에 따른 평균증착률의 변동폭이 크게 나타났다. 그러므로 본 연구결과로부터 확대부의 확대각의 변화는 증착률과 증착률의 균일도에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 직선확대부보다 포물선형의 확대부에서 더 민감하게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5에 확대각의 변화에 따른 웨이퍼 표면의 유속 균일도를 나타내었다. 직선형 확대부의 경우는 확대각이

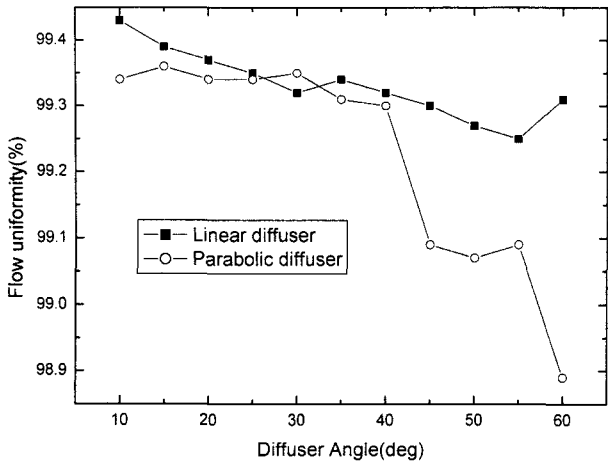


Fig. 5. Variations of flow uniformity with respect to diffuser angle.

증가함에 따라 매우 완만하게 유속 균일도가 감소하고 있고 포물선형의 경우는 10°~40°의 범위에서는 유속 균일도의 변동이 미미하나 40° 이상에서는 급격한 유속 균일도의 감소를 확인할 수 있다. 이는 이 영역에서의 유입부의 급격한 단면적변화로 인한 유동저항 때문이다. 그러나 유속 균일도와 Fig. 3의 증착률 균일도와와의 직접적인 상관관계는 발견할 수 없었다. 이는 증착률 균일도가 물질전달 경계층 두께에 의존하므로 유속의 균일도 뿐만아니라 유속의 정량적 크기에 좌우되기 때문으로 생각되어진다.

위의 결과들로부터 최적 확대부의 확대각은 본 연구의 운전조건의 경우 직선형 확대부는 50°~55°로 생각되어진다. 이 영역은 확대부의 길이(L)가 짧아서 원자 상호간의 확산(inter-diffusion)을 막을 수 있고 용기의 제작

단가를 낮추고 설계가 용이하며 높은 기계적 강도를 보장받을 수 있다. 포물선형의 확대부의 최적 확대각은 40°~45°이다. 그러나 40°의 경우에 비해 45°에서 증착률 균일도가 0.51% 급격히 상승하나 평균 증착률은 역으로 3% 감소하므로 이에 대한 설계상의 절충이 필요하다.

Fig. 6(a)에 40°의 경우의 포물선형 확대부 기관 지지대 위의 속도분포를 나타내었으며 이때 속도는 입구속도로 나누어 무차원하였으며 Fig. 6(b)에 기관지지대 위의 증착률 분포를 나타내었다. 기관 지지대의 선단에서는 큰 농도차이로 후미에서는 유체의 가속으로 급격한 농도 구배의 존재가 불가피하므로 본 연구에서는 선단과 선미로부터 20% 영역은 나타내지 않았다. 그림에서 볼 수 있듯이 양쪽 측면의 마찰저항으로 인한 큰 전단응력의 발생으로 인하여 유속이 감소되어 두꺼운 경계층이 존재하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이 혼합평균유동과 기관 지지대 사이의 농도 경계층 두께를 두껍게 하여 물질전달 저항을 상승시켜 결국 증착률을 저하시키고 있음을 볼 수 있다. Fig. 6(b)에서 기관 지지대 중심선 부위에서의 농도 등고선들이 하류로 치우쳐 있음을 볼 수 있는데 이는 이 부위의 유속이 가속되어 빠르므로 반응물질의 웨이퍼로의 확산시간이 부족하기 때문이다.

Fig. 7에는 45°의 경우의 포물선형 확대부 기관 지지대 위의 속도분포 및 증착률분포를 나타내었다. 우선 속도장을 보면 기관 지지대 선단에서의 급격한 유로 단면적 변화로 인한 큰 유동저항으로 인하여 40°의 경우에 비해 지지대 표면에 전반적으로 낮은 유속이 분포되어 있고 유입선단에 높은 속도구배가 존재함을 볼 수 있으며 따라서 Fig. 5에서 나타내었듯이 40°보다 45°의 웨이

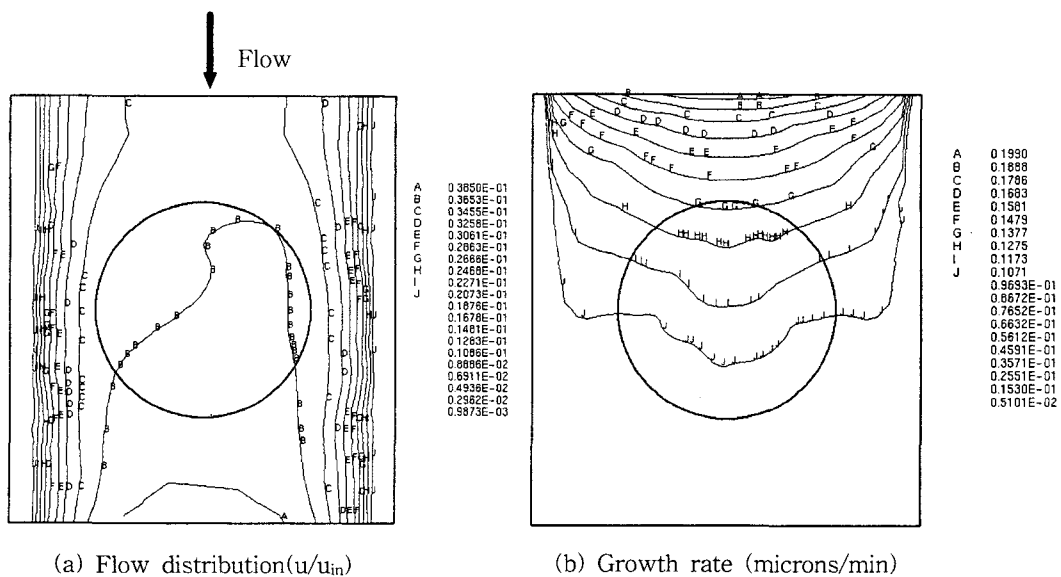


Fig. 6. Results of the calculation of the flow and growth rate distribution at the parabolic diffuser angle of 40°.

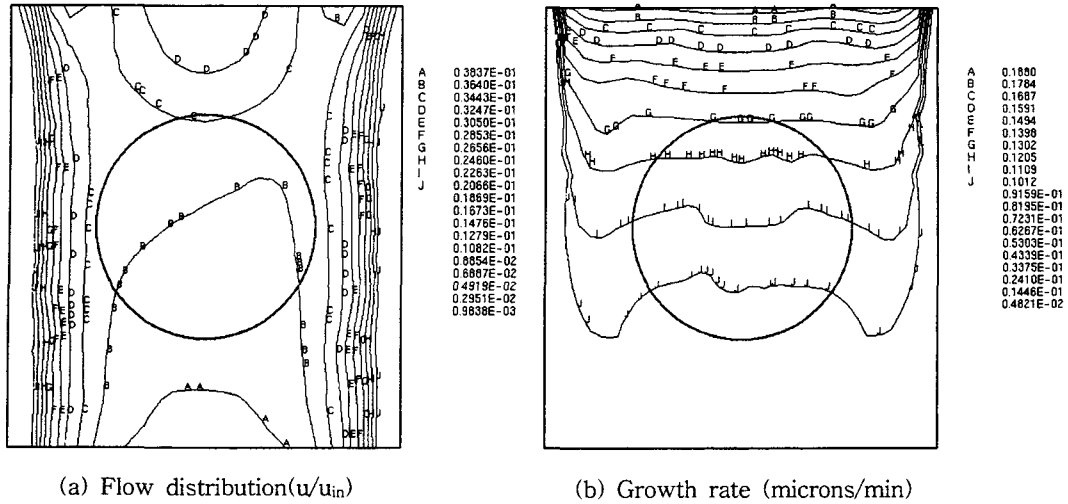


Fig. 7. Results of the calculation of the flow and growth rate distribution at the parabolic diffuser angle of 45°.

퍼 위의 속도균일도가 급격히 저하하게된다. 양쪽 측면에서도 40°의 경우에 비해 두꺼운 경계층이 형성되어 있다. 증착률 분포는 유로 중앙부에서의 유속이 큰 유동저항으로 인하여 유속이 감소 및 재분배되므로 40°의 경우보다 균일하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 유속의 감소는 농도 경계층의 두께를 두껍게 만들어 45°의 경우는 40° 경우에 비해 전체적으로 낮은 증착률이 분포하고 있음을 알 수 있다.

수평형 반응로의 경우는 하류에서의 반응물질의 농도의 감소로 인한 박막의 불균일 해소가 주요 해결과제이며 이는 수송가스의 가속으로 억제시킬 수 있다. 따라서 기관 지지대의 하류에서의 속도분포를 비교하는 것은 의미가 있다. 하류에서의 속도는 Fig. 6(a)와 Fig. 7(a)에서 볼 수 있듯이 45°의 경우가 40°의 경우보다 유속이 약 0.35 % 감소하고 있음을 알 수 있으며 이는 Fig. 6(b)와 Fig. 7(b)에서 볼 수 있듯이 5.83%의 증착률의 감소를 초래하고 있다. 그러므로 유입부 확대부의 확대각 변경

을 통한 유입부의 형상 변경은 유속 및 증착률 분포에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 증착률의 균일도와 증착률의 크기는 반비례관계가 성립하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8에는 확대각 변화에 따른 직선 및 포물선형의 유입부에 대한 수송가스의 유입구와 기관 지지대 하류사이에서의 무차원 압력손실(= $\Delta P / (1/2) \rho u_m^2$)을 나타내었다. 직선 및 포물선형 모두 확대각이 증가할수록 유입구의 길이가 짧아지므로 압력손실이 감소하는 경향을 나타내며 확대각의 변화에 따른 압력손실의 변동폭은 포물선형 유입부가 더 큼을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수평형 MOCVD 반응기의 유입확대부를 직선과 포물선형으로 고려하여 각각의 경우에 대한 확대각 변화가 반응기 내의 유동특성 및 증착특성에 미치는 영향을 3차원 열유동해석을 통하여 수치적으로 연구하였다.

해석결과, 직선의 확대부의 경우는 확대각을 변화시킴에 따라 최대 0.62 %, 포물선 확대부의 경우는 0.99 %의 증착률 균일도의 향상을 얻을 수 있었으며 직선형 확대부보다 포물선형 확대부의 각도변화에 따른 증착률 균일도의 민감도가 크다는 것을 알 수 있었다. 평균 증착률은 직선형 확대부의 경우 확대각을 변동시킴에 따라 최대 4.8 % 증가시킬 수 있었으며 포물선형의 확대부의 경우는 최대 5.23 % 증가시킬 수 있었다. 따라서 확대부의 확대각의 변화는 평균증착률과 증착률의 균일도에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 직선확대부보다 포물선형의 확대부에서 더 민감하게 나타남을 알 수 있다.

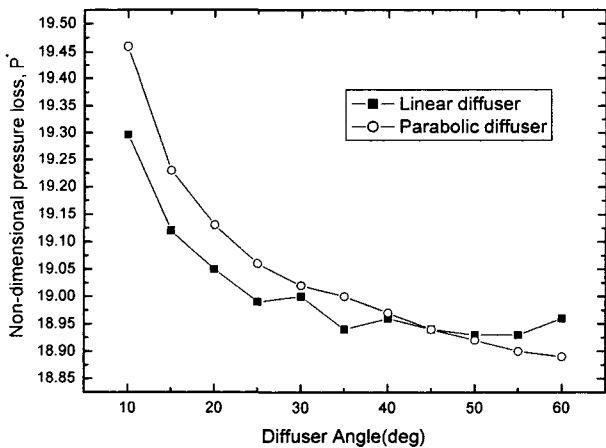


Fig. 8. Variation of pressure loss with respect to diffuser angle.

위의 결과로부터 최적 확대부의 확대각은 본 연구의 운전조건의 경우 직선형 확대부는 50° ~ 55° 으로 생각되어지며 포물선형의 확대부의 최적 확대각은 40° ~ 45° 이다. 그러나 40° 의 경우에 비해 45° 에서 증착률 균일도가 0.51% 급격히 상승하나 평균 증착률은 역으로 3% 감소하므로 이에 대한 설계상의 절충이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] H.K. Moffat and K.F. Jensen, "Three-dimensional flow effects in Silicon CVD in horizontal reactors", J. Electrochem. Soc. 35 (1988) 459.
- [2] J. Quazzani and F. Rosenberger, "Three-dimensional modeling of horizontal chemical vapor deposition I. MOCVD at atmospheric pressure", J. Crystal Growth 100 (1990) 545.
- [3] A.N. Jansen, M.E. Orazem, B.A. Fox and W.A. Jesser, "Numerical study of the influence of reactor design on MOCVD with a comparison to experimental data", J. Crystal Growth 112 (1991) 316.
- [4] A.G. Salinger, J.N. Shadid, S.A. Hutchinson, G.L. Henning, K.D. Devine and H.K. Moffat, "Analysis of gallium arsenide deposition in a horizontal chemical vapor deposition reactor using massively parallel computations", J. Crystal Growth 203 (1999) 516.
- [5] W.K. Choi and D.H. Choi, "Optimization of a horizontal MOCVD reactor for uniform epitaxial layer growth", Int. J. Heat and Mass Transfer 43 (2000) 1851.
- [6] S. Mazumder and S.A. Lowry, "The importance of predicting rate-limited growth for accurate modeling of commercial MOCVD reactors", J. Crystal Growth 224 (2001) 165.
- [7] C.-Y. Shin, B.-J. Baek, C.-R. Lee, B. Pak, J.-M. Yoon and K.-S. Park, "Numerical analysis of the growth of GaN layer in MOCVD reactor", J. Crystal Growth 247 (2003) 301.
- [8] C. Goodings, N.J. Mason, P.J. Walker and D.P. Jebb, "A new inlet area design for horizontal MOVPE reactors", J. Crystal Growth 96 (1989) 13.
- [9] F. Durst, L. Kadinskii, M. Peric and M. Schafer, "Numerical study of transport phenomena in MOCVD reactors using a finite volume multigrid solver", J. Crystal Growth 125 (1992) 612.
- [10] STAR-CD Ver. 3.15 Users' Manual, Computational Fluid Dynamics Ltd. (2001).
- [11] M. Peric, "A finite volume method for the prediction of three-dimensional fluid flow in complex ducts", Ph.D Thesis (1985) 175.