

## 수평형 MOCVD에 의한 GaN 에피층 성장시 반응로내의 열 및 물질전달에 관한 수치해석 연구

신창용 · 박근섭\* · 윤정모\*\* · 이철로\*\* · 백병준\*\*\*

전북대학교 대학원 정밀기계공학과, 561-756. 전북 전주

\*(주)한백, 305-210, 대전 광역시

\*\*전북대학교 공과대학 신소재공학부, 561-756. 전북 전주

\*\*\*전북대학교 공과대학 기계공학부(자동차신기술연구소), 561-756. 전북 전주  
(논문접수일 : 2001년 5월 31일)

### Numerical Analysis on the Heat and Mass Transport in Horizontal MOCVD Reactor for the Growth of GaN Epitaxy

C. Y. Shin, K. S. Park\*, J. M. Yoon\*\*, C. R. Lee\*\*, and B. J. Baek\*\*\*

*Department of Precision Mechanical Engineering, Chonbuk National University*

*\*Hanvac Co.*

*\*\*Faculty of Advanced Materials Science, Chonbuk National University*

*\*\*\*Faculty of Mechanical Engineering, Chonbuk National University*

(Received May 31, 2001)

#### 요 약

수평형 MOCVD (유기금속 화학기상법) 제조공정에서 유체유동, 열전달 및 화학종의 국소적 질량분율을 고찰하기 위한 수치계산을 수행하였다. 수송가스로 작용하는 수소가스와 TMG 및 암모니아의 농도분포를 예측함으로써 혼합과정을 분석하고 필름성장의 균일성을 예측하였다. 농도분포에 미치는 입구크기, 위치, 질량유량 및 벽면의 경사각도의 영향이 검토되었다. 계산결과로서 무차원 대류 열전달 계수 Nu에 의해 반응물의 농도분포를 정성적으로 예측할 수 있었으며, 균일한 필름성장을 위한 최적 질량유량, 벽면 경사도 및 입구조건이 제시되었다.

#### Abstract

Numerical calculation has been performed to investigate the fluid flow, heat transfer and local mass fraction of chemical species in the MOCVD(metalorganic chemical vapor deposition) manufacturing process. The mixing of reactants (trimethylgallium with hydrogen gas and ammonia) was presented by the concentration of each reactant to predict the uniformity of film growth. Effects of inlet size, location, mass flow rate and susceptor/cold wall tilt angle on the concentration were reported. From the numerical calculations, the concentration of reactants could be qualitatively predicted by the Nusselt number(heat transfer) and the optimum mass flow rate, wall tilt angle and inlet condition were considered.

#### 1. 서 론

CVD(chemical vapor deposition)는 활성화에너지를

이용하여 가스를 분해함으로써 고체상태의 안정된 박막을 기판 위에 형성하는 것을 말한다. CVD를 이용한 박막성장 장치는 일반적으로 가스나 박막의

성분을 구성하는 source, 가스나 source의 분배 및 혼합장치, 반응로(reactor), 기판의 가열장치, 반응압력과 반응이 끝난 가스의 배기 장치로 구성된다. 일반적으로 박막의 성장 및 성장된 박막의 특성에 영향을 주는 주요한 요소들은 반응가스의 특성, 순도와 공급되는 활성화에너지의 양, 기판의 온도, 반응물의 비율, 가스의 질량유량, 반응로의 기하학적 형상 등이다.

Eversteyn 등 [1]은 단순한 형태의 CVD 반응로의 유동 특성이 박막 성장에 미치는 영향을 실험적으로 검토하여 열대류(thermo convection)의 효과가 중요한 인자가 됨을 발표하였다. 기존에 무시되었던 열대류의 영향으로 가스의 혼합이 증가함을 가지적으로 규명하였으며, 가스속도와 경계층 두께가 성장층의 균일도에 미치는 영향을 예측할 수 있는 이론식을 제시하였다.

Chiu와 Jalulia 등 [2]은 Eversteyn 등이 사용한 동일 모델을 적용하여 열전달 특성에 대한 수치해석을 수행하여 반응면의 온도 및 Nu수 분포에 의해 반응을 및 그 균일도를 예측하였으며 다른 형태의 반응로에 대한 부력의 영향을 검토하였다. 또한 Chiu와 Jalulia [3]는 반응물의 물질전달을 고려한 전달 현상을 수치해석적으로 분석하여 반응로 벽의 물질의 영향 및 저속으로 이동하는 반응면의 영향이 물질부착에 큰 영향이 없음을 보이고 연속공정 가능성을 제시하고 있다.

MOCVD(metal-organic chemical vapor deposition)는 CVD 공정의 일종으로서 박막성장시 precursor로서 MO source를 사용한다. 이러한 MOCVD에 의하여 기존의 열 CVD에 비해 비교적 낮은 온도에서 에피층의 성장이 가능하게 되었다.

현재 영상, 그래픽 및 표시소자 등 발광소자를 이용하는 분야에서 완전한 색상의 구현을 위해서는 청색 발광다이오드(LED)의 실용화가 시급한 문제이다. 청색 발광다이오드를 위해서는 사파이어 웨이퍼(sapphire wafer)기판 위에 MOCVD에 의해 GaN계 III족 질화물반도체의 성장시킴으로서 가능하다. 그러나 GaN계 III족 질화물 반도체의 성장은 약 1000℃~1100℃ 의 고온에서 이루어지기 때문에 MO source나 수송가스의 대류에 의한 영향이 지배적이다.

Fotiadis 등 [4]은 2차원 및 3차원 모델에 대해 수직형 축대칭 MOCVD 반응로의 전달 현상에 대한

유한 해석 결과를 보고하고 있다. 특히 유동장 및 필름 두께에 미치는 열전달 특성, 작용압력, 반응로의 형상 등의 영향을 분석함으로써 자연대류의 영향이 최소화되어 필름 성장의 균일성을 향상시킬 수 있는 방안이 제시되었다.

Pawlowski 등 [5]은 TMG(trimethylgallium)와 암모니아로부터 GaN을 성장시킬 수 있는 MOCVD의 기초적 반응 모델을 개발하였다. 또한 회전하는 수직형 반응로에 분사된 precursor의 전달현상만을 고려한 결과로서 박막성장을 정확하게 예측할 수 있음을 보고하였으며, 성능개선을 위한 반응로의 수정을 시도하였다. 이 결과에 의하면 기존 사용된 정체 유동과 회전식 반응면의 수직형 반응로에 주입되는 선구물질들이 반응면 이전에 혼합됨으로서 형성된 미립자(particulate)에 의해 반응물의 공급 결손이 생김으로써 필름의 성장 효율이 낮아진다. Theodoropoulos 등 [6]은 수소를 수송가스로 하는 혼합물에 희석된 암모니아와 TMG로부터 GaN의 형성을 나타내는 간단한 kinetic 모델을 사용하여 이러한 단점을 보완할 수 있는 입구설계 지침을 제시하고 있다.

이와 같이 여러 연구자들에 의하여 희박 농도의 반응물이 수송가스에 희석된 단일 성분의 주입가스에 대한 연구가 수행되어 왔으나, GaN MOCVD에서와 같이 비교적 높은 농도의 암모니아의 공급이 요구되는 다종의 성분(multi-component)이 혼합된 연구는 미흡한 실정이다. 특히 온도에 불안정한 암모니아의 혼합 및 그 분포에 관한 정보는 안정된 박막의 성장에 중요한 요인이 되나, TMG 및 수소가스 등 주요 화학종(chemical species)의 보존방정식을 열 및 운동량 방정식과 복합적으로 계산해야 하는데 그 어려움이 있다.

본 연구에서는 본 연구팀에서 개발한 GaN 성장용 수평형 반응로를 모델로 하여 분리된 입구의 상·하부에서 주입되는 노즐 크기와 위치, 유량, 반응면 온도 및 상판의 열적 조건 등 내부 유동에 미치는 각종 요인의 영향을 수치해석적으로 분석하므로써 GaN 에피층 성장시 가장 중요한 요소인 NH<sub>3</sub>와 TMG의 농도분포 변화를 미리 평가하고자 하였다. 이렇게 하므로써 수평형 반응로 type 변화, H<sub>2</sub>와 NH<sub>3</sub>의 속도변화 및 susceptor 위치 변화에 따른 GaN 에피층 성장공정 평가, 성장되는 GaN 에피층의 균일도와 quality 예측 등을 할 수 있다.

## 2. 수치해석

### 2.1 해석모델

본 연구에서 채택한 계산모델의 기하학적인 형상은 Fig. 1과 같이 수평반응면, 3.6° 기울어진 반응면 및 채널윗면의 경사도를 고려한 수평채널이다. 반응로의 구성은 미반응 영역인 입구영역과 출구영역, 그리고 고온의 반응영역으로 구분할 수 있다. 입구영역은 TMG와 수소의 유입부와 암모니아의 유입부를 분리하여 수소가스는 3000 SCCM, 암모니아 1500 SCCM을 기준으로 그 부피를 변화시켜 그 영향을 검토하였다. 또한 MO source 로서 20 SCCM의 TMG가 수소에 의해 기포화되어 반응로에 유입된다. TMG를 수송하는 기체로는 1기압의 수소 가스를 사용하였다. 수평 채널의 높이 H는 15 mm이고 길이 L은 350 mm이며, 반응이 일어나는 반응면의 온도 T<sub>s</sub>는 1300 K이다.

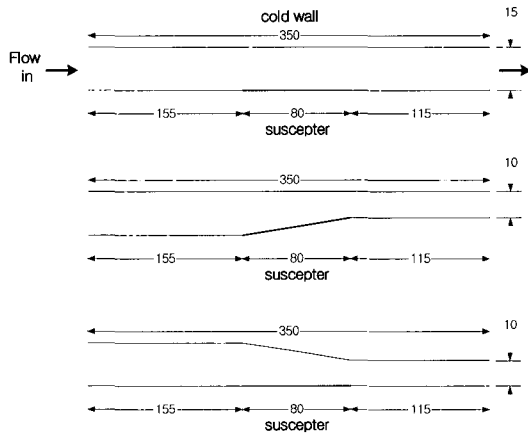


Fig. 1 Schematics of horizontal CVD reactors

### 2.2 해석방법 및 경계조건

반응가스로부터 경계층을 통해 기판으로 확산됨으로써 이루어지는 박막의 성장은 유체역학적 또는 열적 경계층 두께 등에 의해 지배적으로 영향을 받는다. 본 연구에서는 위의 공급량을 기준으로 입구 속도 및 반응면 주위의 형상 변화등이 가스의 혼합에 미치는 영향을 조사하였다.

반응기내에서의 유동특성과 화학반응을 고찰하기 위하여 유한체적 프로그램인 FLUENT를 사용하여 해석하였다. 반응면을 통한 열전달과 원료가스의 유동은 정상상태 층류 유동에 대한 일반적인 질량 보존, 운동량 보존, 에너지식 등을 적용하였으며 화학종(chemical species)에 대한 보존 방정식은 *i* 번째 화학종에 대한 대류-확산식의 해를 통하여 국소 질량분률(local mass fraction)을 예측할 수 있는 다음의 식들을 적용하였다. [7]

운동량방정식

$$\nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \mu(\nabla \bar{v}) + \rho \bar{g} \quad (1)$$

에너지방정식

$$\rho C_p(\bar{v} \cdot \nabla T) = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (2)$$

화학종방정식

$$\bar{v} \cdot \nabla (\rho m_i) = -\nabla \cdot J_i \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, n-1,$$

여기에서 농도 기울기에 의한 확산 플럭스는

$$J_i = \rho \frac{M_i}{M} \sum_{j=1, j \neq i}^n D_{ij} \left( \nabla m_j + m_j \frac{\nabla M}{M} \right) - D_i^T \frac{\nabla T}{T} \quad (4)$$

$M_i$  : 화학종 *i*의 분자량

$D_{ij}$  : 화학종 *i, j* 간의 확산계수

$D_i^T$  : 화학종 *i*의 혼합물내 열확산 계수

이며, 계산시 사용된 물성치는 표 1과 같다. [8,9]

운동량, 에너지식 등의 계산을 위한 경계조건은 다음과 같다. 반응이 일어나는 반응면의 온도는 실제 사용조건인 1300 K를 사용하였으며, 반응면을 제외한 모든 면은 등온(T<sub>c</sub>=300 K) 조건으로 가정하였다. 반응면에서의 복사는 무시하였다. 입구가스의 온도, 농도 및 속도는 균일한 값이며 출구에서는 그 변화율을 0으로 하였다. 1300 K의 고온 반응면에서의 표면반응은 TMG와 암모니아의 표면으로의 확산에 비해 매우 빠르게 이루어진다. 따라서 표면에 도달된 모든 반응물질은 도달 즉시 소멸된다는 조건으로부터 반응표면에서의 반응물의 질량분율을 0

Table 1 Physical properties of various gases used for the calculations

$\mu$	NH <sub>3</sub>	$-8.03e-7+3.67e-8T+4.11e-13T^2$
	TMG	$-1.15e-6+3.35e-8T-6.68e-12T^2$
	H <sub>2</sub>	$2.63e-6+2.22e-8T-5.19e-12T^2$
$k$	NH <sub>3</sub>	$-7.28e-3+8.97e-5T+5.21e-8T^2$
	TMG	$-3.52e-3+3.85e-5T-3.84e-8T^2$
	H <sub>2</sub>	$5.77e-2+4.43e-4T-7.54e-8T^2$
$C_p$	NH <sub>3</sub>	$1.97e3+1.11T-7.86e-5T^2$
	TMG	$540+1.6T$
	H <sub>2</sub>	$1.44e-4-2.61e-1T+8.67e-4T^2$
$D_{ij}$	$D_{NH_3-TMG}$	$-3.14e-6+2.26e-8T+4.60e-11T^2$
	$D_{TMG-H_2}$	$-1.47e-5+1.06e-7T+2.16e-10T^2$
	$D_{NH_3-H_2}$	$-7.6e-6+1.1e-7T+6.97e-10T^2-1.26e-13T^3+2.27e-17e-17T^4$

으로 하였다. [8]

### 3. 결과 및 고찰

수평형 CVD 반응로에 주입된 수소를 수송가스로 하는 TMG 및 암모니아 가스의 혼합에 관한 수치계산을 수행하여 입구형상, 주입가스량 및 반응면 각도 등의 영향을 조사하였다.

Fig. 2는 반응로의 입구 직전에 혼합된 가스가 단일 입구를 통해 유입되어 길이 방향으로 유동이 진행됨에 따라 각 위치에서의 속도 및 질량분율 분포를 도시한 것이다. Fig. 2(a)에서 보면 0.12 m/s의 입구 속도로 유입된 가스는 고온의 반응면의 위치(x=0.16 m)에서 속도가 증가하며, 반응면을 따라 증가하는 온도상승에 의한 밀도변화는 반응면 끝 부분(x=0.23 m)에서 급격한 속도증가의 요인이 된다는 것을 알 수 있다. Fig. 2(b)는 혼합물 총 질량에 대한 암모니아의 질량비 분포이다. 반응면에 도달되기 전(x=0.1 m)에서 균일하게 혼합된 암모니아의 질량비는 반응면의 위치(x=0.16 m)에서 급격하게 감소된 후 반응면을 따라 완만한 감소가 지속되는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 반응면 위에 도달된 암모니아 및 TMG 농도를 나타낸 것이다. 사용된 가스는 TMG 20 SCCM, 암모니아 1500 CC 및 수소 3000 CC를 기준으로 암모니아와 수소 가스의 양의 변화를 도시하였다. 고온에 의한 급격한 확산으로 인해 대부분의 암모니아 가스가 반응면 표면에서 에피층 성장에 관련되는 반응에 참여하지 못하고 반응면 윗 부분으로 날라가게 되어 반응면 시작점의 암모니아의 농도는 급격히 감소하며, 유동이 진행됨에 따라 경계층의 증가와 함께 지속적인 농도 감소가 진행됨을 알 수 있다. 공급된 수소의 양이 4000 SCCM으로

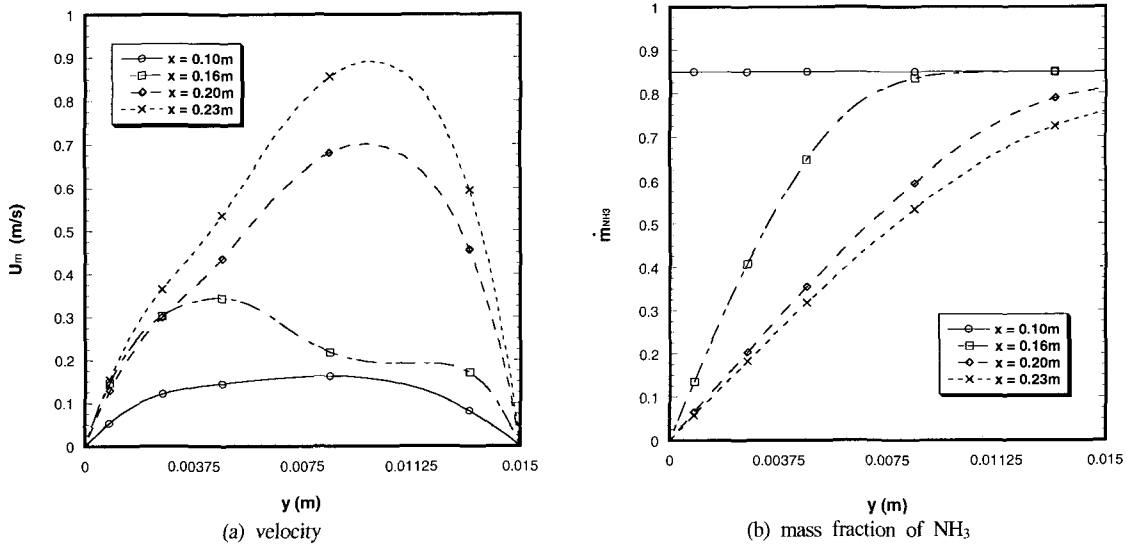


Fig. 2 Profile of velocity and mass fraction.

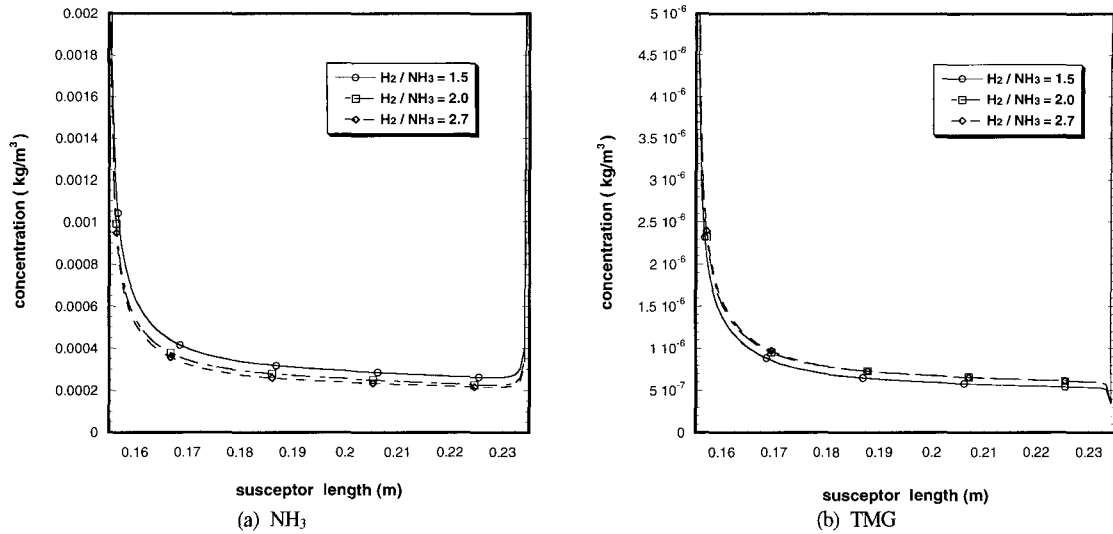


Fig. 3 Effect of mass fraction on the concentration of NH<sub>3</sub> and TMG for single inlet

로 증가하여 H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>=2.7일 때 반응면 위에 도달되는 암모니아의 농도는 감소하며, 암모니아 공급이 증가 (2000 SCCM, 질량비 H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>=1.5) 됨에 따라 그 농도가 증가된다. 또한 공급가스 양의 조절과 무관하게 유동의 진행에 따른 농도의 감소는 일정함을 알 수 있다.

Fig. 3(b)는 수소가스와 암모니아의 양의 변화가 반응면 위의 TMG 농도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. TMG의 량이 일정하게 (20 SCCM) 공급될지라도 수소가스의 증가(H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>=2.7)에 따른 TMG 농도 변화는 크지 않으나, 암모니아 양이 증가(H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>=1.5)함에 따라 TMG 농도는 감소함을 알 수 있다. 즉, 수소가스의 유동의 영향에 비해 고온인 암모니아의 확산 및 속도 영향이 지배적으로 작용하여 암모니아의 채널 상부의 벽면으로의 유동이 증가함으로써 반응면 주위의 TMG 농도가 감소하게 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 반응표면에서의 국부 Nusselt수 (Nu=hH/k)를 나타낸 것이다. Nu는 유동이 진행됨에 따라 반응면 위의 경계층 두께 증가와 함께 감소하고 있으며, 또한 각 반응물의 양적 변화와 무관하게 입구를 통과하는 총 공급유량 4500 SCCM(H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>=2.0), 5000 SCCM(H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>=1.5) 및 5500 SCCM(H<sub>2</sub>/NH<sub>3</sub>=2.7)에 비례하여 속도(U<sub>in</sub>=0.12 m/s, U<sub>in</sub>=0.13 m/s, U<sub>in</sub>=0.15 m/s) 증가에 따라 증가함을 알 수 있다. 이러한 경향은

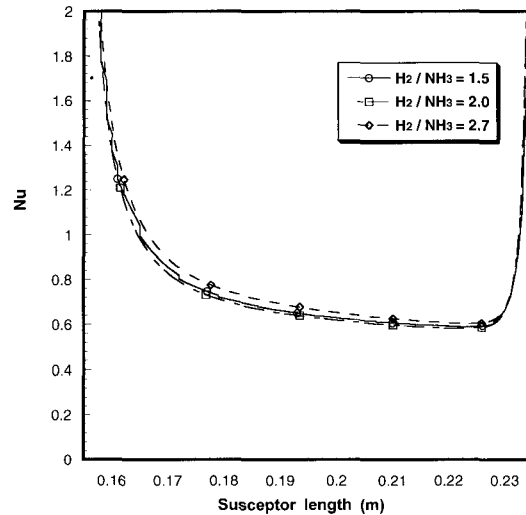


Fig. 4 Effect of mass fraction on the surface Nusselt Number, for single inlet

암모니아 및 TMG의 농도분포와 유사하다. 따라서 열 및 유동장의 분석을 통하여 물질 전달에 의한 농도 분포의 일반적 경향을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

위의 결과들로 보아 반응면 위치에 따른 각 반응물의 농도 불균일은 박막 성장의 균일성의 관점에서 반응로의 성능에 미치는 지대한 요인이 되나, 고온의 반응면 조건에서 입구속도에 의한 불균일성의 조절

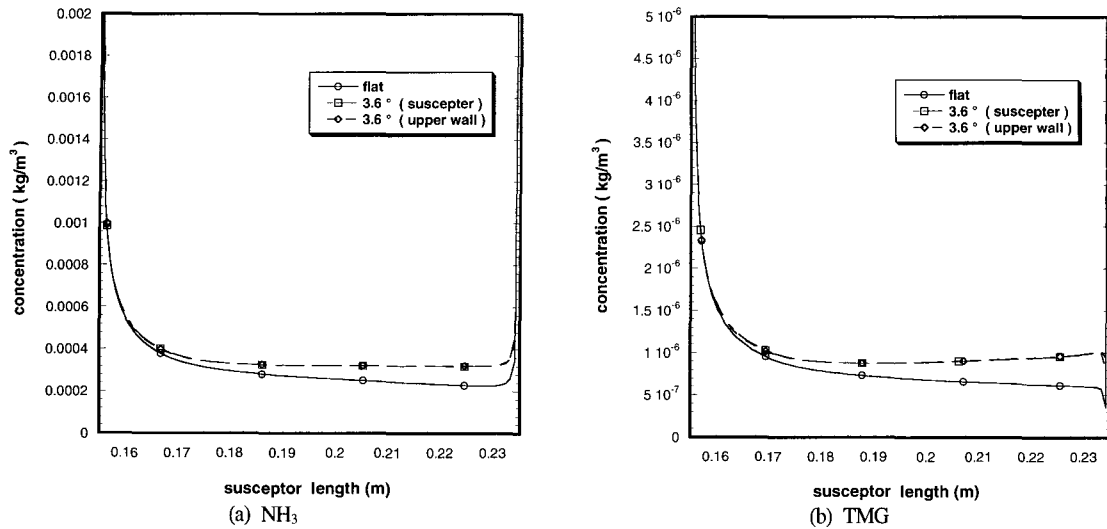


Fig. 5 Effect of wall inclination on the concentration of NH<sub>3</sub> and TMG along the susceptor

은 용이하지 않음을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 반응면 또는 채널 상부 벽면의 경사각도를 조절하여 유동 및 물질전달에 미치는 영향을 검토하였다. Fig. 5는 1500 SCCM의 암모니아, 20 SCCM의 TMG 및 3000 SCCM의 수소를 혼합한 가스의 유동에 미치는 반응면 또는 채널 윗면의 경사각도의 영향을 고찰하여 도시한 반응면 위의 암모니아 및 TMG 농도 분포를 나타낸다. 경사각 3.6°인 반응면 선단으로부터 2 cm 이후 영역에서는 암모니아의 농도가 균일한 분포를 나타내고 있으나 (Fig. 5(a)), TMG 농도는 오히려 반응면의 중심부로부터 미세하게 증가함을 알 수 있다. 또한 채널 윗 벽면의 경사각에 의한 영향이 반응면의 경사와 동일하게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 공정상의 편리함을 고려하면 채널 상부 벽면의 경사각을 3.6°로 유지함으로써 박막성장의 불균일성을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

이상에서 언급한 단일 입구 형상은 MO-source와 암모니아의 충분한 혼합의 관점에서는 우수하지만 일정한 시간이 지나면 (MO)<sub>x</sub>NH<sub>3</sub>의 부산물을 생성하게 되어 GaN계열의 질화물 성장이 부분적으로 이루어지거나 저급의 박막성장이 된다. 따라서 TMG와 수송가스로서의 수소와 암모니아를 분리시켜 공급할 필요가 있다. 본 연구에서는 현재 사용중인 모델을 고려하여 높이가 각각 10 mm와 5 mm로 분리

된 입구를 갖는 모델을 채택하였다. Fig. 6은 입구의 상·하부에서 수소 및 TMG와 암모니아가 각각 0.12 m/s의 속도로 공급되는 조건을 기준으로 입구 속도 및 채널 상부 벽면 각도의 영향을 검토한 결과이다. Fig. 6(a)와 같이 수평채널인 경우에는 동일한 암모니아의 입구속도( $u_{NH_3}=0.12$  m/s)에 대해 수소의 속도가 증가할수록 반응면에 도달되는 암모니아의 농도는 감소하며, 암모니아의 입구 속도에 비례하여 그 농도는 증가한다. 또한 유동방향으로 진행할수록 입구 속도와 무관하게 암모니아의 농도는 감소한다. 결국, 수평인 반응면의 경우 입구의 속도(유량변화) 조절에 의한 농도의 균일성 향상은 쉽지 않을 것으로 판단된다. 그러나 채널의 상부 벽면의 경사각을 3.6°로 기울인 경우에는 농도 균일성에 미치는 입구속도의 영향을 관찰할 수 있다. 암모니아의 입구속도가  $u_{NH_3}=0.12$  m/s로 일정할 때 수소의 입구속도가 증가할수록 반응면 위의 암모니아 농도는 감소한다. 그러나 수소의 속도증가에 따라 반응면 하류에서의 농도분포는 증가하여  $u_{H_2}=0.12$  m/s에서 비교적 균일한 농도분포가 나타난다. Fig. 6(b)는 TMG의 농도분포를 도시한 것이다. 단일 입구 형상과 비교하여 수평채널에 대해서도 유동의 하류에서 미세한 증가를 나타내는 것이 특징이며, 그 증가는 벽면의 경사와 함께 증가함을 알 수 있다.

Fig. 7은 반응표면의 Nu에 미치는 입구속도의 영

수평형 MOCVD에 의한 GaN 에피층 성장시 반응로내의 열 및 물질전달에 관한 수치해석 연구

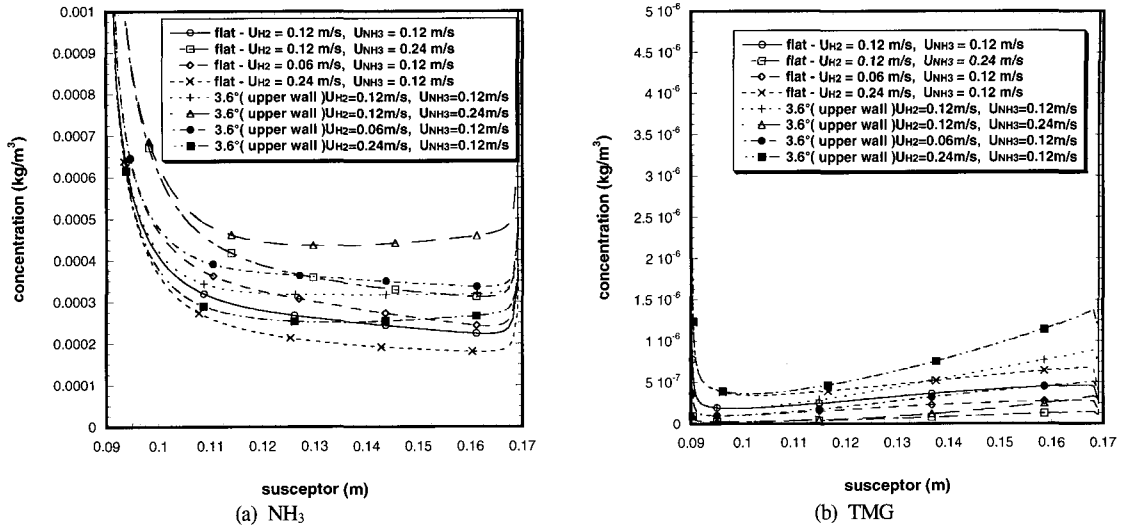


Fig. 6 Effect of wall inlet velocity on the concentration of NH<sub>3</sub> and TMG along the susceptor

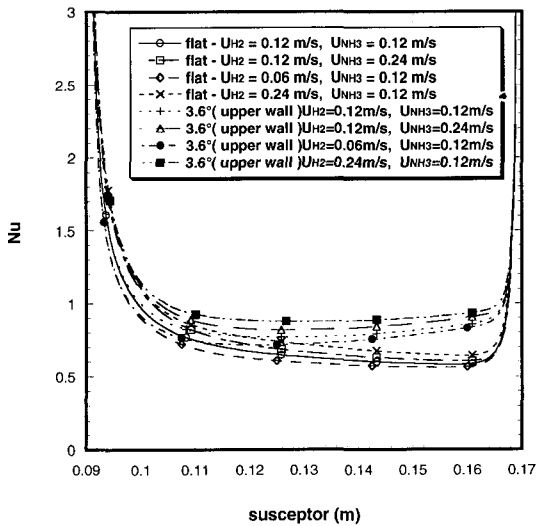


Fig. 7 Effect of wall inlet velocity on the surface Nusselt number along the susceptor

향을 나타낸다. 수평채널의 유동에서는 Nu수가 유동의 하류에서 점진적으로 감소되고, 유속에 비례하여 증가하며 동일 유속에 대해서도 입구 면적과 비례하는 유량 증가에 따라 증가한다. 또한 벽면 경사의 증가와 함께 반응면 후류에서 증가된 속도에 따라 증가하는 Nu 분포를 나타내고 있다. 이러한 경향은 암모니아의 농도분포와 유사하게 나타난다. 따라서 Nu 분석을 통하여 농도 분포의 일반적 경향

을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 8은 입구전체의 채널 높이(L=15 mm)를 고정하고 수소가스와 TMG의 유입높이(h<sub>up</sub>=7.5 mm, 10 mm, 12 mm) 및 암모니아의 유입 높이(h<sub>down</sub>=7.5 mm, 5 mm, 3 mm)를 변화시켜, 유동장내에 가스의 혼합 과정을 검토한 결과이다. 점선은 입구영역의 상부(h<sub>up</sub>=7.5 mm)에서 암모니아를 공급하고 하부(h<sub>down</sub>=7.5 mm)에서 TMG와 수소를 공급한 경우이며, 다른 3조건은 입구의 상부에서 TMG 및 수소가스가 공급되는 형상에 대한 결과이다. 암모니아 농도는 일정한 가스 공급량(H<sub>2</sub> : 3000 SCCM, NH<sub>3</sub> : 1500 SCCM)에 대해 수소가스 유입구의 크기 및 위치와 무관하게 일정한 농도 분포를 나타내고 있다. 그러나, TMG 농도분포는 유입구의 크기와 무관하게 거의 일정하나 그 농도가 매우 낮게 나타나며, 반응면 하류에서 미세한 증가가 있다. 유입구의 위치를 변경시켜 상부 유입구에서 암모니아를, 하부 유입구에서 수소와 TMG를 공급시킬 경우에는 반응면에서 현저한 농도 상승이 있으며 반응면 후류에서는 감소하는 농도 분포를 나타내고 있다.

Fig. 9는 입구형상 변화에 따른 Nu수의 분포를 나타낸다. 입구의 크기와 위치가 변할지라도, 채널에 공급되는 총 공급유량이 동일하도록 입구속도를 조정하였기 때문에 열전달에 미치는 영향은 나타나지 않는다.

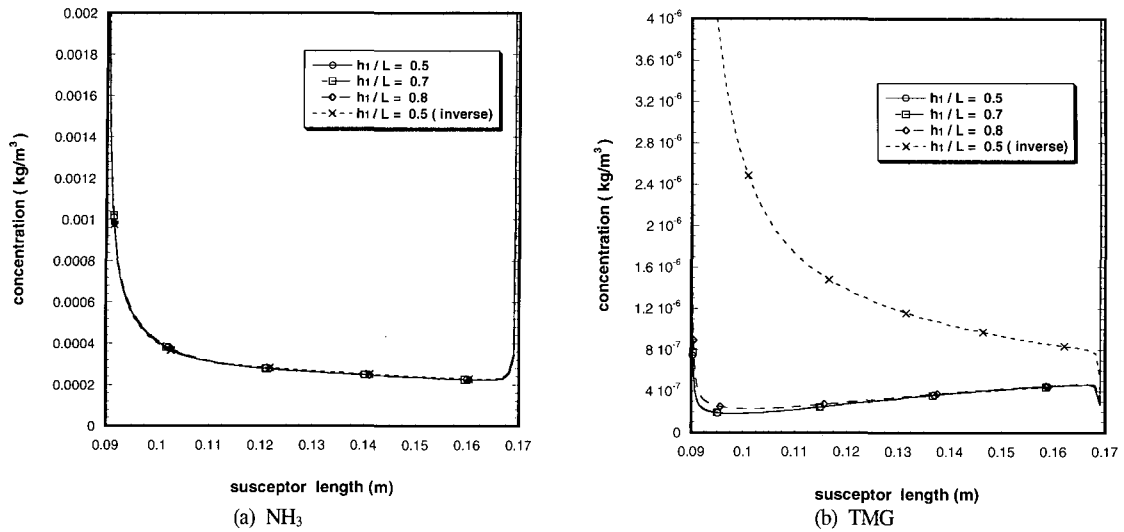


Fig. 8 Effect of inlet design on concentrations of NH<sub>3</sub> and TMG along the susceptor

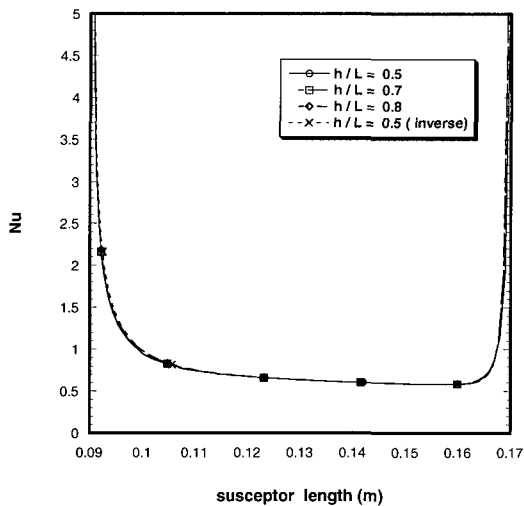


Fig. 9 Effect of inlet design on Nusselt number along the susceptor

#### 4. 결 론

GaN 성장용 수평형 반응로를 모델로 하여 분리된 입구의 상·하부에서 주입되는 노즐 크기와 위치, 유량, 반응면 온도 및 상판의 열적 조건 등 내부 유동에 미치는 각종 요인의 영향을 수치해석적으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 구하였다.

1. 유입직전에 혼합되는 암모니아는 고온의 반응면에서 농도가 급격히 감소하며, 유동이 진행됨에 따라 지속적으로 감소한다. 수송가스 량이 증가함에 따라 암모니아의 농도는 감소하며, 반응면에서의 농도 감소율은 공급가스의 양과 무관하게 일정하였다. TMG 농도는 유입된 암모니아 량이 증가할수록 감소하였다.
2. 입구속도에 의해서 반응면 위의 농도 불균일성의 조절은 용이하지 않았으나, 반응면 또는 채널 상부 벽면의 경사각도를 조절함으로써 균일한 농도 분포를 구할 수 있었다. 공정상의 편리함을 고려하면 채널 상부 벽면의 경사각 조절이 추천된다.
3. 수평으로 놓인 반응면에 TMG와 암모니아를 분리시켜 공급하는 경우, 암모니아의 농도는 입구속도와 무관하게 반응면을 따라 감소한다. 그러나 채널의 상부 벽면이 경사진 채널의 암모니아 농도는 입구속도의 영향이 존재한다. 3.6° 경사진 벽면을 갖는 채널유동의 농도 균일성을 위한 적정 암모니아 및 수소의 공급량을 제시하였다.
4. 반응면 위의 암모니아 농도는 일정한 가스 공급량에 대해 수소가스 유입구의 크기 및 위치와 무관하게 일정한 농도 분포를 나타낸다. 그러나, TMG 농도분포는 유입구의 크기와 무관하게 거



의 일정하지만, 유입구 위치에 따라 반응면에서 현저한 농도 변화가 나타난다.

본 연구결과를 수평형 MOCVD에 의한 GaN 에피층 성장에 적용할 경우, 반응로 type 변화, H<sub>2</sub>와 NH<sub>3</sub>의 속도변화 및 susceptor 위치 변화에 따른 GaN 에피층의 균일도와 quality 예측 등을 할 수 있으리라 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 (주)한백의 지원에 의해서 수행한 연구 결과로써 지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] F. C. Eversteyn, P. J. W. Severin, C. H. J. Brekel, and H. L. Peek, *J. Electrochem. Soc.* **117**, pp.925-931 (1970).
- [2] W. K. S. Chiu and Y. Jaluria, *HTD-VOL. 347, ASME National Heat Transfer Conference* **9**, pp.293-311 (1997).
- [3] W. K. S. Chiu and Y. Jaluria, *Proc. of 11th IHTC*, **5**, pp.187-192 (1998).
- [4] D. I. Fotiadis, S. Kieda, and K. F. Jensen, *J. of Crystal Growth* **102**, pp.441-470 (1990).
- [5] R. P. Pawlowski, C. Theodoropoulos, A. G. Salinger, T. J. Mountziaris, H. K. Moffat, J. N. Shadid, and E. J. Thrush, *J. of Crystal Growth* **221**, pp.622-628 (2000).
- [6] C. Theodoropoulos, T. J. Mountziaris, H. K. Moffat, and J. Han, *J. of Crystal Growth* **217**, pp.65-81 (2000).
- [7] Fluent Inc., *Fluent User's Guide* (1998).
- [8] J. P. Hartnett and T. F. Irvine, *Advances in Heat Transfer*, (Academic Press, New York, 1998) Vol. 28.
- [9] R. H. Perry and D. W. Green, *Chemical Engineer's Hand book*, (International Edition, 1997).