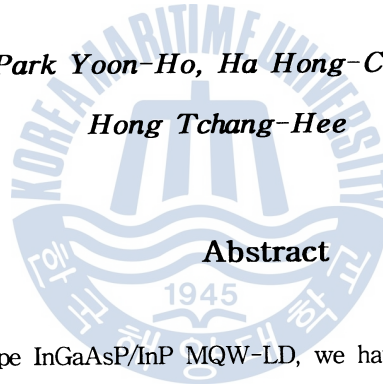


# Ridge형 InGaAsP/InP MQW LD제작을 위한 결정성장 이론에 관한 연구

조호성\* · 박윤호\*\* · 하홍춘\*\* · 오수환\*\* · 홍창희\*\*\*

## A Study on the Crystal Growth for the Fabrication of Ridge type InGaAsP/InP MQW Laser Diode

*Cho Ho-Sung, Park Yoon-Ho, Ha Hong-Choon, Oh Su-Hwan,  
Hong Tchang-Hee*



### Abstract

In the fabrication of ridge type InGaAsP/InP MQW-LD, we have to grow MQW-DH wafer. Therefore, phase equilibrium necessary in epitaxial growth with LPE have to be prepared.

And we have supposed the technique which the lattice match and the wavelength can be controlled independently for the optimization of InGaAsP/InP growth from the phase diagram suggested by Kuphal.

## 1. 서 론

Ridge형 InGaAsP/InP MQW-LD의 제작을 함에 있어서 먼저, MQW-DH구조의 웨이퍼가 준비되어야 하는데 이러한 구조의 웨이퍼를 성장시키기 위해서는 상평형도가 마련되어야 한다.

\* 한국전자통신연구소 화합물반도체부

\*\* 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과

\*\*\* 한국해양대학교 이공대학 전자통신공학과

따라서, 본연구는 LPE(액상결정성장)를 사용하여 이러한 구조의 웨이퍼를 성장시키기 위한 상평형도를 계산하고, 실제 결정성장에 필요한 재료의 삽입량을 산출하기 위한 결정성장 이론에 관하여 해석을 행하였다.

이 해석으로 부터 산출된 삽입량으로 성장을 행하게 되면 계산된 이론치, 즉 격자정합 및 파장에 대한 오차가 자주 발생하게 되는데 이러한 오차를 보정할 수 있도록 격자정합 및 파장에 대한 InAs와 GaAs의 삽입량을 조절할 수 있는 방법을 제안 하였다.

한편, 격자정합 조건 또는 파장변화를 만족 시키기 위하여, 예를 들면 격자정합 조건을 만족시키기 위하여 InAs와 GaAs량을 변화 시키게 되면 파장변화가 동시에 발생하게 된다. 따라서 격자정합 조건과 파장변화를 각각 독립적으로 제어해야 하는데, 본 연구에서는 이러한 격자정합 조건과 파장변화를 각각 독립적으로 제어할 수 있는 방법을 제안 하였다.

## 2. 경험식에 의한 InGaAsP 상평형도

LPE에 의한 4원 화합물  $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ 의 결정 성장은 In용매에 필요한 용질(InP, InAs, GaAs)을 녹여서 성장온도에서 성장용액을 기판에 접촉시킴으로써 일정한 조성비(x,y)에 따라 성장층의 격자상수 및 발진파장 등이 결정되는데, 양질의 웨이퍼를 얻기 위해서는 기판과 성장층의 격자정합이 이루어져야 한다. 일반적으로 격자부정합도가 0.1%이상 되면 표면형태(surface morphology)와 균일성이 나빠지고, 비발광재결합중심으로 작용하는 결정결함밀도(dislocation density)가 증가하며 조성비가 부분적으로 달라질 뿐 아니라 깨끗한 경계면의 성장층을 얻을 수 없다.<sup>1)</sup> InP기판상에 InGaAsP를 성장시킬 경우에는 격자부정합  $\Delta a/a$ 가  $5 \times 10^{-3}$  이하가 되어야만 misfit dislocation이 생기지 않는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 또한, 성장층의 밴드갭 에너지  $E_g$ 는 웨이퍼의 발광 및 흡수파장을 결정하며 굴절율과도 밀접한 관계를 가진다.<sup>3)</sup>

그림 2.1은 III-V족 화합물의 격자상수와 밴드갭 에너지, 그리고 발광 파장의 변화를 나타낸다.<sup>4)</sup> 그림에서 보는 바와 같이 4원 화합물 반도체의 경우 2원 화합물의 조성비 조정에 의해 격자상수 및 밴드갭 에너지를 독립적으로 선택할 수 있다.

한편, 열역학 상태 방정식의 계산은 실험을 행할 경우 실험 기준치를 마련해 준다는 의미에서 상당한 가치가 있기는 하나, 모든 파장영역을 만족하는 InGaAsP의 고상-액상 상평형도가 마련되기는 어렵기 때문에 실험적 데이터와 정확하게 맞기는 상당히 힘들다.

따라서 이러한 열역학 상태 방정식으로 부터 도출된 근사치로 부터 실험적으로 잘 맞도록 마련된 실험적 상평형도가 Nakajima씨<sup>5)-7)</sup>와 Kuphal씨<sup>8)</sup>에 의해 마련되었다. Nakajima씨 등에 의해 마련된 상평형도는 그래프로 표시된 것과 도표로 표시되어 있어 실험에 사용하기에는 아주 편리한 면이 있기는 하지만, 격자 부정합이나 파장편이에 대한 보정을 행하기는 다소 어려운 점을 안고 있다. 그래서 일반적으로 현재 많이 사용되는 상평형도는 Kuphal씨에 의해 570°C~660°C영역에 걸쳐 이미 발표된 수백개의 데이터를 curve-fitting방법으로 만들어진 경험식이다

LPE에 있어서는 시스템에 따른 의존도가 상당히 높아서 아무리 잘 만들어진 상평형도를 가지고 실험을 행하더라도 잘 맞지 않는 경우가 많은데 이런 면에서는 Kuphal씨가 제안한 경험식이 상당한 의미를 가진다.

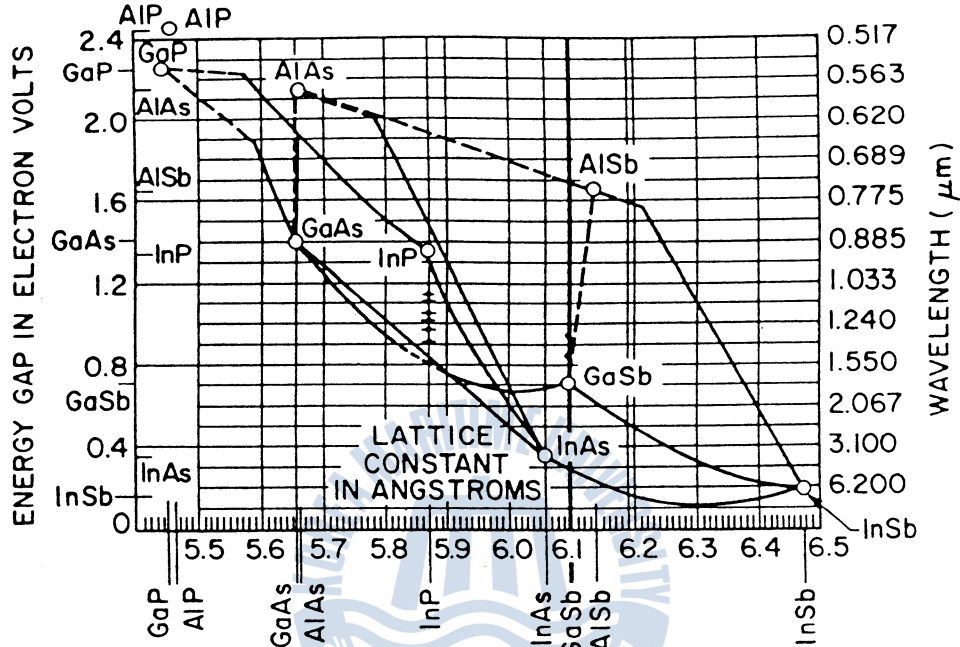


그림 2.1 III-V 화합물 반도체의 격자상수와 밴드갭 에너지와의 관계.

그리고 Kuphal씨의 논문이 발표되기 전에는 InGaAsP/InP계의 상호작용계수와 관련된 논문들이 많이 발표되었으나, 그 이후로는 이러한 유형의 논문은 거의 발견할 수 없다는 사실만으로도 실험적 사실과 잘 일치함을 입증하는 것이라 할 수 있다.

따라서 기존의 이론적 열역학 상태 방정식을 보완하는 의미에서 Kuphal씨의 논문에 나타난 각종 파라메터를 정리하여 보았다. 먼저 InP와 격자정합하는  $In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$ 의 고체조성비  $x, y$ 의 관계는 Vegard의 법칙에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{a(x, y) - a(\text{InP})}{a(\text{InP})} = 0.03227y - 0.07128x + 0.002214xy \quad (2-1)$$

식 (3-14)에서  $\Delta a/a=0$ 라는 관계로 부터 다음 식과 같이 된다.

$$x = \frac{0.4527y}{(1 - 0.0311y)} \quad (2-2)$$

그리고 밴드갭 에너지는 Yamazoe의 식<sup>9)</sup>을 기준으로 여러가지 데이터와 비교하여 보정하여 구한 것이 다

음 식과 같다.

$$E_g(x,y) = 1.35 + 0.668x - 1.068y + 0.758x^2 + 0.078y^2 - 0.069xy - 0.322x^2y + 0.03xy^2 \quad (2-3)$$

InP기판위에 InP, InGaAs, InGaAsP 각각을 성장 시킬 경우 각 성분에 대한 액상조성비가 표2.1에 나타나 있다.

표2.1 각 성분에 대한 액상조성비의 경험식

성장재료	액 상 조 성 비
InP	$X_P^l = 1.76 \times 10^3 \exp(-11411/T^l)$
In <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> As	$X_{Ga}^l = 1.204 \exp(-3584/T^l)$ $X_{As}^l = 213.9 \exp(-7519/T^l)$ $= 144.9 (X_{Ga}^l)^{2.098}$
In <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> As <sub>y</sub> P <sub>1-y</sub>	$X_{As}^l = \exp(-7181/T^l)[3.8451 \times 10^4 X_{Ga}^l - 5.6805$ $\times 10^6 (X_{Ga}^l)^2 + 5.0985 \times 10^8 (X_{Ga}^l)^3 - 2.6191$ $\times 10^{10} (X_{Ga}^l)^4 + 7.0231 \times 10^{11} (X_{Ga}^l)^5 - 7.6075 \times 10^{12} (X_{Ga}^l)^6]$ $X_{Ga}^l = \exp(-3584/T^l)$ $\times (0.7069x + 3.4624x^2 - 8.7492x^3 + 36.554x^4 - 32.878x^5)$ $X_P^l = \exp(-11411/T^l) \times 10^2 [13.305(1-y) - 4.7256(1-y)^2$ $+ 12.417(1-y)^3 - 3.3953(1-y)^4]$

한편 InP기판으로 성장을 행할 경우 일반적으로 상온 격자정합조건을 기준으로 하게 된다.

한 예로 표 2.1에서의 액상조성비로 실험을 해보면 주로 +방향의 격자 부정합이 일어남을 알 수가 있는데, 이는 InP기판과 InGaAsP의 열팽창 계수가 다르기 때문에 상온에서의 격자정합조건을 만족시키려다 보면 오히려 +격자부정합이 발생되기 쉽다. LPE에 있어서 양질의 에피층과 장수명의 광소자를 제작하기 위해서는 -격자부정합을 갖는 것이 좋은 것으로 알려져 있는데<sup>10)</sup>, 이 사실은 상온에서 보다 성장온도에서의 격자정합조건을 만족하는 쪽이 오히려 좋다는 것을 암시한다. 그리고 성장온도에서 격자부정합이 발생하면 격자

결함이나 misfit dislocation과 같은 것이 형성되어 상온에서도 계속 존재하게 되지만 성장온도에서 격자정합 되면 격자의 온도가 식더라도 기판에 의해 격자의 변형이 흡수될 수 있으므로 거의 결함이 발생되지 않는 것으로 알려져 있다.<sup>11)</sup>

따라서 성장온도에서의 격자 정합조건을 구하기 위하여 우선  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  의 열팽창 계수  $\alpha$ 를 Vegard의 법칙에 의해 구해보면 다음 식과 같이 된다.

$$\alpha_{\text{InGaAsP}}(\text{C}^{-1}) = [4.56 + 0.35x + 0.60y - 0.88xy] \times 10^{-6} \quad (2-4)$$

여기에 사용된 2원화합물 각각의 열팽창계수는<sup>12)</sup>

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{InAs}} &= 5.16 \times 10^{-6} (\text{C}^{-1}) \\ \alpha_{\text{InP}} &= 4.56 \times 10^{-6} (\text{C}^{-1}) \\ \alpha_{\text{GaAs}} &= 6.63 \times 10^{-6} (\text{C}^{-1}) \\ \alpha_{\text{GaP}} &= 5.91 \times 10^{-6} (\text{C}^{-1}) \end{aligned} \quad (2-5)$$

이며, 이 때 고체조성비  $y$ 에 따른 열팽창 계수의 변화가 그림 2.2에 나타나 있다.

그림 2.2으로부터  $1.3\mu\text{m}$ 파장영역의 InGaAsP의 열팽창 계수는 약  $5.33 \times 10^{-6}/\text{C}$ 로서, Bisaro씨<sup>13)</sup> 등의 실험치  $5.42 \times 10^{-6}/\text{C}$ 에 비해 다소 낮은 값을 가지고 있는데, 이는 Vegard의 법칙을 벗어난 bowing parameter를 고려하지 않았기 때문에 생긴 것으로 생각되며, 이 값을 이용하여 상온에서 InP기판과 격자정합된 경우의

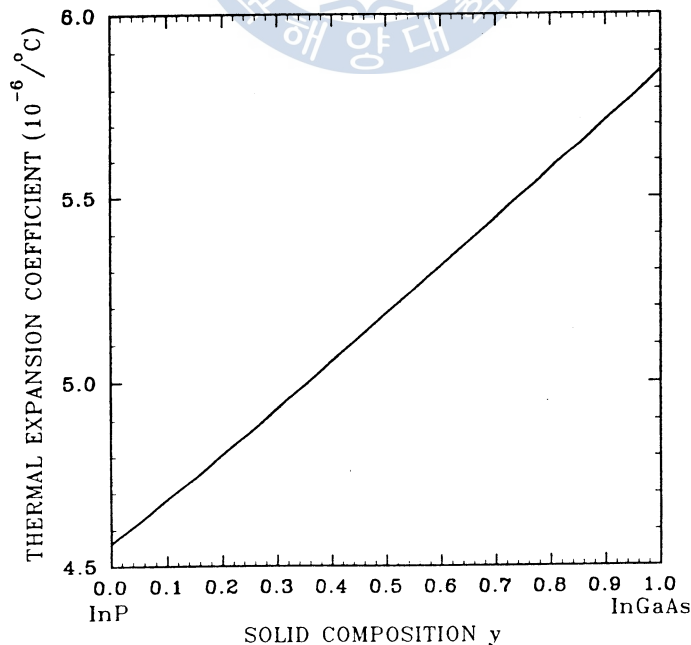


그림 2.2  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ 의 고체 조성비  $y$ 에 따른 열팽창 계수.

1.3 $\mu\text{m}$  InGaAsP층의 온도에 따른 격자상수의 변화가 그림 2.3에 나타나 있다.

그림 2.3에서 InGaAs의 경우 열팽창 계수는  $5.66 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 하였으며, 성장온도 630 $^{\circ}\text{C}$ 에서 InGaAsP는  $+5.2 \times 10^{-4}$ 의 격자 부정합을 보이므로 성장온도에서 결정결합이 존재할 수도 있다는 사실을 추정할 수 있다. 따라서 성장온도에서 격자정합을 이루게 될 경우 상온에서는 약  $-5.2 \times 10^{-4}$ 정도의 격자 부정합이 일어나게 되는데 이것은 Brunemeier씨 등이  $-5 \times 10^{-4}$  격자 부정합에서 X-ray회절측정의 FWHM이 최소가 된다는 사실과 일치하고 있다. 그러므로 성장온도 630 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열팽창계수의 차를 고려한 경우 식(2-2)의 상온격자정합조건에 -격자부정합이 일어나도록 하면,

$$x = \frac{0.4527y + 0.0073}{(1 - 0.0311y)} \quad (2-6)$$

가 되며, 이 식과 (2-2)식과의 차이에서 발생한 x의 양만큼을 표 2.1로부터 산출하여 상온 격자정합 조건에서 조절해 주면 된다.

그림 2.4에 상온 격자정합 조건과 벗어난 부정합 조건에서의 InAs와 GaAs양을 나타내었다. 그림으로부터 내삽에 의해 정해진 격자부정합에 따른 InAs의 변화량은 약 0.92mg/(0.1%), GaAs는 약 1.07mg/(0.1%)가 됨을 알 수 있으며, 이 값으로부터 삽입량을 조절하면 원하는 격자정합 조건을 얻을 수가 있다. 그리고 가끔 성장온도를 조절함으로써 과포화도  $\Delta T$ 를 변화시켜서 격자정합 조건을 찾는 경우가 있는데, 이 경우 성장용액은 InAs $\rightarrow$ InP $\rightarrow$ GaAs 순서로 녹아 들어가기 때문에 성장재료의 양이 결정되고 나면 실제로 온도에 따라 변화하는 양의 한계가 있을 것으로 추정된다.

앞서 기술한 것과 마찬가지로 개념으로 파장조절에 대한 것이 그림 2.5에 나타나 있다. 그림으로부터 파장에 따른 InAs의 변화량은 약 0.40mg/0.01 $\mu\text{m}$ , GaAs의 변화량은 0.46mg/0.01 $\mu\text{m}$ 정도가 된다는 사실을 알 수 있다.

한편, 에피층 성장시 그림 2.4를 이용할 경우 격자정합 조건을 만족시키기 위하여 InAs와 GaAs량을 변화시키면 그림 2.5와 같이 파장변화가 동시에 발생하기 때문에 격자정합 조건과 파장변화를 각각 조절하기 위해서는 앞에서 기술한 방법을 사용할 수가 없다. 따라서 격자정합 조건과 파장변화를 각각 독립적으로 제어할 수 있는 방법을 제안하여 보았다.

각 성분에 따른 액상 조성비의 변화에 따른 격자 부정합과 파장변화를 수식적으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\Delta \bar{a} = \sum_i \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_i} \Delta X_i \quad \left( \bar{a} \equiv \frac{\Delta a}{a} \right) \quad (2-7)$$

$$\Delta \lambda = \sum_i \frac{\partial \lambda}{\partial X_i} \Delta X_i \quad (2-8)$$

식 (2-7)과 식 (2-8)에서  $X_i$ 는 i성분의 액상조성비로서 InGaAsP의 경우 격자상수와 파장에 영향을 미치

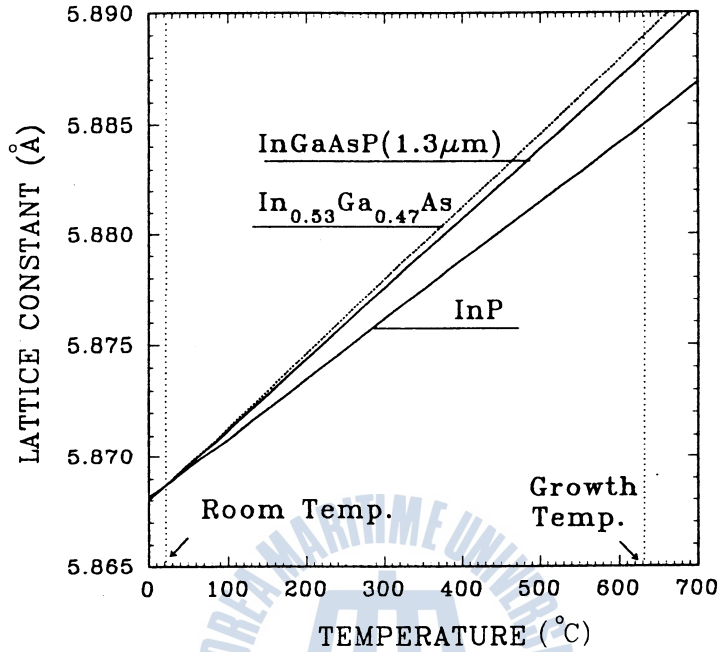


그림 2.3 성장온도에 따른 InP, (1.3 μm)InGaAsP, InGaAs의 격자상수의 변화.

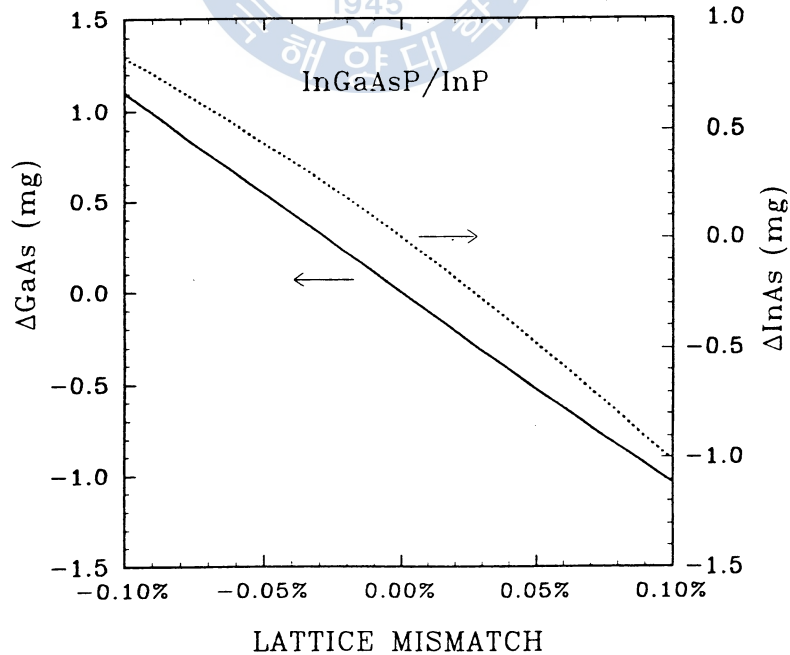


그림 2.4 격자 부정합에 따른 InAs와 GaAs의 변화량.

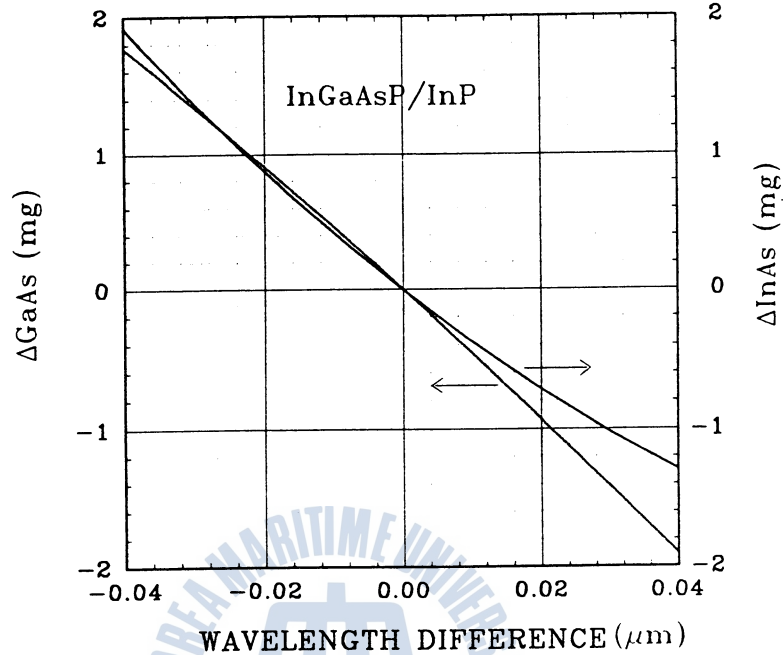


그림 2.5 파장변화에 따른 InAs와 GaAs의 변화량.

는 것은 Ga와 As의 액상조성비이며, P의 경우 과포화도에 영향을 주로 미치는 것으로 알려져 있으며, 특히 2상용액법으로 성장을 행하게 되면 P성분은 자동으로 조절되므로 고려하지 않아도 문제가 되지 않는다. 따라서 식(2-7)과 식(2-8)을 다시 쓰면 다음과 같이 된다.

$$\Delta \bar{a} = \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{Ga}^1} \Delta X_{Ga}^1 + \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{As}^1} \Delta X_{As}^1 = A \Delta X_{Ga}^1 + B \Delta X_{As}^1 \quad (2-9)$$

$$\Delta \lambda = \frac{\partial \lambda}{\partial X_{Ga}^1} \Delta X_{Ga}^1 + \frac{\partial \lambda}{\partial X_{As}^1} \Delta X_{As}^1 = C \Delta X_{Ga}^1 + D \Delta X_{As}^1 \quad (2-10)$$

여기서,  $A = \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{Ga}^1}$ ,  $B = \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{As}^1}$ ,  $C = \frac{\partial \lambda}{\partial X_{Ga}^1}$ ,  $D = \frac{\partial \lambda}{\partial X_{As}^1}$  를 나타낸다.

식 (2-9)와 식 (2-10)에서 격자상수와 발진파장을 조절하기 위해 변화되어야 하는 Ga과 As의 액상조성비 변화량  $\Delta X_{Ga}^1$ 과  $\Delta X_{As}^1$ 에 대하여 풀면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\Delta X_{Ga}^1 = \frac{B \Delta \lambda - D \Delta \bar{a}}{BC - AD} \quad (2-11)$$

$$\Delta X_{As}^1 = \frac{C \Delta \bar{a} - A \Delta \lambda}{BC - AD} \quad (2-12)$$



식(2-11)과 식(2-12)에 사용된 A, B, C, D 각각의 계수를 식 (2-1)와 식 (2-3)을 이용하여 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{\text{Ga}}^1} \\
 &= \frac{\partial \bar{a}}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial X_{\text{Ga}}^1} \\
 &= [ -0.07128 + 0.002214y ] \frac{\partial x}{\partial X_{\text{Ga}}^1}
 \end{aligned} \tag{2-13}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{\text{As}}^1} \\
 &= \frac{\partial \bar{a}}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial X_{\text{As}}^1} \\
 &= [ 0.03227 + 0.002214x ] \frac{\partial y}{\partial X_{\text{As}}^1}
 \end{aligned} \tag{2-14}$$

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\partial \lambda}{\partial X_{\text{Ga}}^1} \\
 &= \frac{\partial \lambda}{\partial E_g} \frac{\partial E_g}{\partial X_{\text{Ga}}^1} \\
 &= -\frac{\lambda^2}{1.2398} \frac{\partial E_g}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial X_{\text{Ga}}^1} \\
 &= -\frac{\lambda^2}{1.2398} [ 0.668 + 1.516x - 0.069y - 0.644xy + 0.03y^2 ] \frac{\partial x}{\partial X_{\text{Ga}}^1}
 \end{aligned} \tag{2-15}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{\partial \lambda}{\partial X_{\text{As}}^1} \\
 &= -\frac{\lambda^2}{1.2398} \frac{\partial E_g}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial X_{\text{As}}^1} \\
 &= -\frac{\lambda^2}{1.2398} [ -1.068 + 0.156y - 0.069x - 0.322x^2 - 0.06xy ] \frac{\partial y}{\partial X_{\text{As}}^1}
 \end{aligned} \tag{2-16}$$

식 (2-13)~식 (2-16)에 나타난  $\partial x/\partial X_{Ga}^1$ 과  $\partial y/\partial X_{As}^1$ 은 generalized differential distribution coefficient 라 하며, 표 2.1로부터 구해질 수 있는데 그 각각의 값을 파장에 따른 변화로 표시한 것이 그림 2.6과 그림 2.7에 나타나 있다. 따라서 그림 2.6과 2.7로 부터 발진파장에 따른 고체조성비 x와 y 및  $\partial x/\partial X_{Ga}^1$ 과  $\partial y/\partial X_{As}^1$ 을 식(2-13)~식(2-16)에 대입함으로써 A, B, C, D계수 값을 정할 수 있으며, 이 계수값을 식 (2-11)와 식(2-12)에 대입하고 측정치와 예상치의 오차를  $\Delta a$ 와  $\Delta \lambda$ 로 하여 계산하면 원하는 액체조성비 변화량  $\Delta X_{Ga}^1$ 과  $\Delta X_{As}^1$ 을 구할 수가 있다.

이러한 과정을 통해 구해진 성장온도 630°C에서 1.3 $\mu$ m InGaAsP의 경우 파장변화를 0으로 하여 격자부정합에 따른 InAs와 GaAs의 변화량이 그림 2.8에 나타나 있으며, 격자정합이 이루어졌을 경우 파장변화에 따른 InAs와 GaAs의 변화량이 그림 2.9에 나타나 있다.

그림 2.8로 부터 +격자 부정합이 발생한 경우 GaAs의 량은 증가하며, InAs의 량은 오히려 감소하는 것을 알 수가 있다. 그리고 그림 2.9에서는 파장이 장파장으로 이동된 경우에는 InAs와 GaAs의 량이 동시에 감소해야함을 알 수 있다.

한편 과포화도와 관련하여 성장온도를 변화시켜 격자정합 조건과 파장변화를 행할 경우에는 식 (2-19)와 식 (2-20)에 다음과 같이 과포화도와 관련된 변수를 삽입하여야 한다.

$$\Delta \bar{a} = \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{Ga}^1} \Delta X_{Ga}^1 + \frac{\partial \bar{a}}{\partial X_{As}^1} \Delta X_{As}^1 + \frac{\partial \bar{a}}{\partial T_g} \Delta T_g \quad (2-17)$$

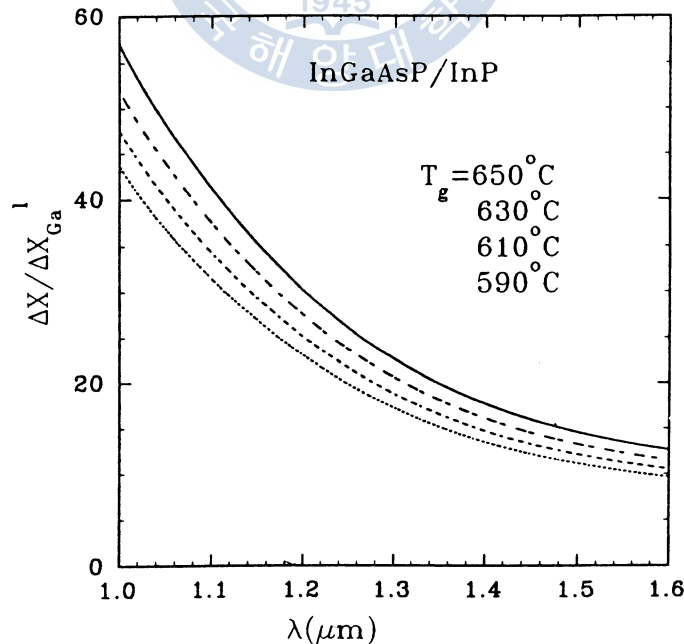


그림 2.6 파장에 따른  $\partial x/\partial X_{Ga}^1$ 의 변화.

Ridge형 InGaAsP/InP MQW LD제작을 위한 결정성장 이론에 관한 연구

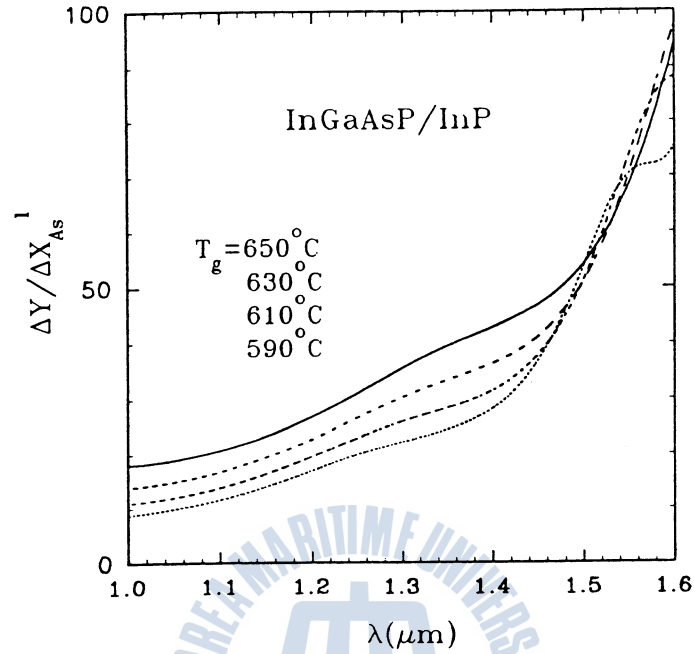


그림 2.7 파장에 따른  $\partial y / \partial X_{As}^1$ 의 변화.

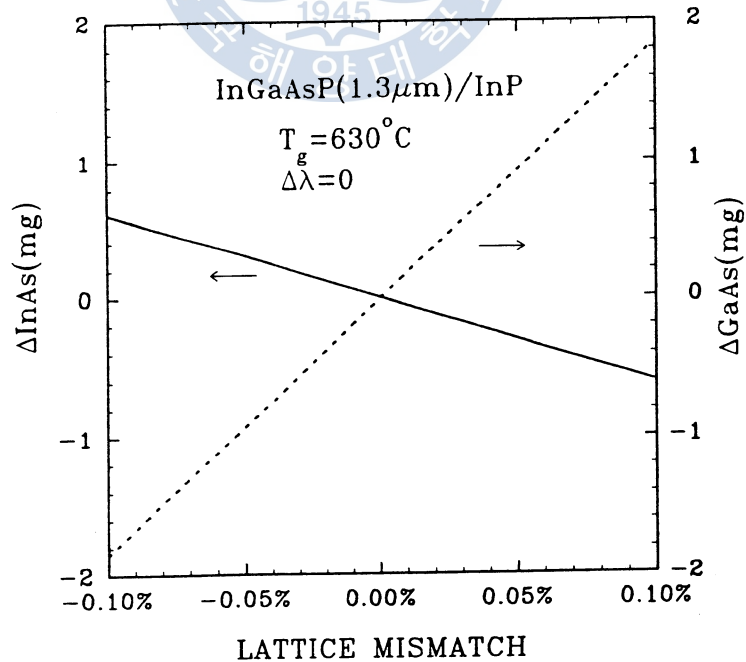


그림 2.8 격자부정합에 따른 InAs와 GaAs의 변화량.

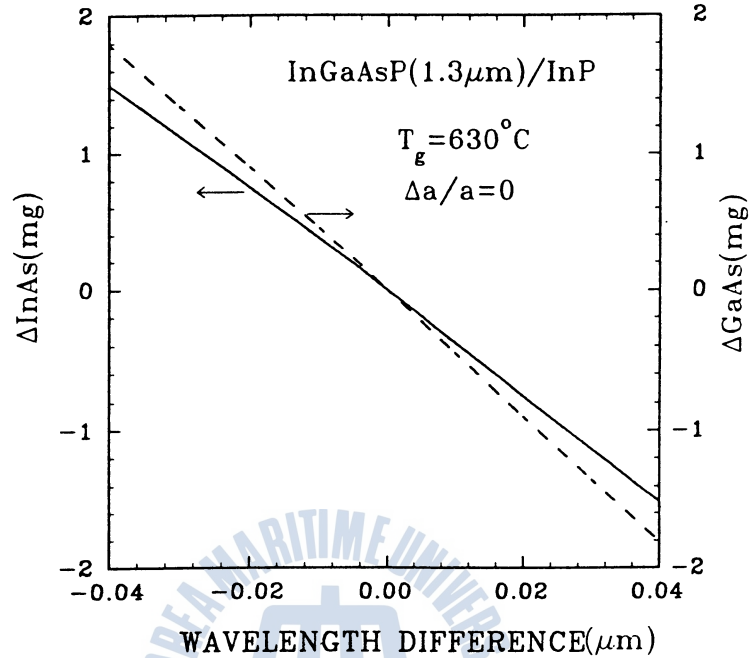


그림 2.9 파장변화에 따른 InAs와 GaAs의 변화량.

$$\Delta \lambda = \frac{\partial \lambda}{\partial X_{Ga}^1} \Delta X_{Ga}^1 + \frac{\partial \lambda}{\partial X_{As}^1} \Delta X_{As}^1 + \frac{\partial \lambda}{\partial T_G} \Delta T_G \quad (2-18)$$

위 식에서  $\partial a / \partial T_G = E(^{\circ}C^{-1})$ ,  $\partial \lambda / \partial T_G = F(\mu m^{\circ}C^{-1})$ 로 두면,

$$\Delta X_{As}^1 = \frac{C \Delta \bar{a} - A \Delta \lambda - (EC - AF) \Delta T_G}{BC - AD} \quad (2-19)$$

$$\Delta X_{Ga}^1 = \frac{B \Delta \lambda - C \Delta \bar{a} - (ED - BF) \Delta T_G}{BC - AD} \quad (2-20)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서  $\partial a / \partial T_G$ 와  $\partial \lambda / \partial T_G$ 는 실험적으로 구해질 수 있는 값이기 때문에 여러번의 실험을 행하여 성장온도 영역에서의 계수값을 결정할 수 있다. 한편, B de Cremoux씨에 따르면<sup>14)</sup>  $\partial a / \partial T_G = 3.2 \times 10^{-4}^{\circ}C^{-1}$ ,  $\partial \lambda / \partial T_G = 1.3 \times 10^{-2} \mu m^{\circ}C^{-1}$ 로 알려져 있다.

이상에서 기술된 방법을 사용하게 되면 발진파장과 격자정합 조건을 각각 제어할 수 있을 뿐만 아니라 성장온도에 의한 조성비 조정이 가능하기 때문에 DFB-LD와 같이 파장과 격자상수 조건이 까다로운 광소자를 제작할 경우에 특히 유용할 것으로 생각된다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 ridge형 InGaAsP/InP MQW-LD제작을 위하여 LD제작에 사용될 MQW-DH (Double Heterostructure)웨이퍼를 성장 시키기 위한 상평형도 계산을 행하였다.

지금까지 사용해오던 상평형도를 실제 시험에 정확하게 사용할 수 있도록 수정, 보완 하였다.

그리하여, 상평형도에 의해 계산된 삽입량을 가지고 성장을 함으로서 발생되는 오차, 즉 이경우 격자정합 조건과 파장변화가 문제 되는데 이러한 변화량을 보정할 수 있는 방법을 제안하였다.

이방법을 사용하여 격자부정합에 따른 InAs의 변화량은 약0.92mg/0.1%, GaAs는 약 1.07mg/0.1%가 됨을 알 수 있었고, 이값으로 부터 삽입량을 조절하면 원하는 격자정합 조건을 얻을 수가 있었다.

또한, 파장조절에 대하여 계산한 결과, 파장에 따른 InAs의 변화량은 약 0.40mg/0.01 $\mu$ m, GaAs는 0.46mg/0.01 $\mu$ m정도가 됨을 알 수 있었다.

그리고, 격자정합조건 또는 파장변화중 어느 한쪽을 만족시키기 위하여 InAs와 GaAs량을 변화시키면 동시에 다른 한쪽의 변화가 발생하기 때문에 이러한 격자정합 조건과 파장변화를 각각 독립적으로 제어할 수 있는 방법을 제안 하였다.

이러한 결과를 가지고 파장과 격자정합 조건이 까다로운 광소자 제작에 아주 유용한 결정성장 데이터를 얻을 수 있었다.

### 참고문헌

- 1) G.B.Stringfellow, "The importance of lattice mismatch in the growth of GaInP epitaxial crystals," J.Appl.Phys., vol.43, pp.3455~3460, 1972.
- 2) K.Oe, Y.Shinoda and K.Sugiyama, "Lattice deformation and misfit dislocations in GaInAsP/InP double-heterostructure layers," Appl.Phys.Lett., vol.33, pp.962~964, 1978.
- 3) H.C.Casey and M.B.Panish, Heterostructure Lasers, New York, Acadmic Press, 1978.
- 4) R.A.Laudise, "Crystal growth progress in response to the needs for optical communications," J.Crystal Growth, vol.65, pp.3~23, 1983.
- 5) K.Nakajima, A.Yamaguchi, K.Akita and T.Kotani, "Composition dependence of the bandgap of  $In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P_y$  quaternary solids lattice matched on InP substrates," J.Appl.Phys., vol.49, pp.5944~5950, 1978.
- 6) K.Nakajima, T.Tanahashi, K.Akita and T.Yamaoka, "Determination of In-Ga-As phase diagram

- at 650°C and LPE growth of lattice-matched  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.46}\text{As}$  on  $\text{InP}$ ," *J.Appl.Phys.*, vol.50, pp.4975~4981, 1979.
- 7) K.Nakajima, *Semiconductors and Semimetals*, vol.22, New York, Academic Press, 1987.
  - 8) E.Kuphal, "Phase diagrams of  $\text{InGaAsP}$ ,  $\text{InGaAs}$  and  $\text{InP}$  lattice -matched to  $(100)\text{InP}$ ," *J.Crystal Growth*, vol.67, pp.441~457, 1984.
  - 9) Y.Yamazoe, T.Nishino, Y.Hamakawa and T.Karita, "Bandgap energy of  $\text{InGaAsP}$  quaternary alloy," *Jpn.J.Appl.Phys.*, vol.19, pp.1473~1479, 1980.
  - 10) P.E.Brunemeier, T.J.Roth, N.Holonyak,Jr. and G.E.Stillman, "High-uniformity liquid phase epitaxial  $\text{InGaAsP}$  ( $\lambda=1.3\mu\text{m}$ )," *J.Crystal Growth*, vol.66, pp.484~486, 1984.
  - 11) G.H.Olson, T.Z.Zamerowski, R.T.Smith and E.P.Bertin, " $\text{InGaAsP}$  quaternary alloys: composition, refractive index and lattice mismatch," *J.Electron.Mat.*, vol. 9, pp.977~987, 1980.
  - 12) S.Adachi, "Material parameters of  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  and related binaries," *J.Appl. Phys.*, vol.53, pp. 8775~8792, 1982.
  - 13) R.Bisaro, P.Merenda and T.P.Pearsall, "The thermal-expansion parameters of some  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  alloys," *Appl.Phys.Lett.*, vol.34, pp.100~102, 1979.
  - 14) B de Cremoux, "First-order theory of diffusion-limited growth in LPE: application to  $\text{InGaAsP}$ ," *Inst.Physy.Ser.*, pp52-60, 1979.

