

디지털 합금 AlGaAs층을 이용하여 제작된 GaAs/AlGaAs DBR의 균일도 향상

조남기^{1,2} · 송진동¹ · 최원준^{1*} · 이정일¹ · 전현수²

¹한국과학기술연구원 나노소자연구센터, 서울 136-791

²서울대학교 물리학과, 서울 151-747

(2006년 2월 20일 받음)

디지털 합금 (digital-alloy) 성장방법을 사용한 AlGaAs층을 이용하여 $1.3\mu\text{m}$ vertical cavity surface emitting laser (VCSEL)에 사용될 수 있는 AlGaAs/GaAs distributed Bragg reflector (DBR)를 분자선 에피택시 (molecular beam epitaxy) 방법을 통해 제작하였다. 3인치 1/4 크기의 기판에 디지털 합금 AlGaAs층을 사용한 DBR을 성장하고 기판 여러 부분에서의 반사율을 측정하여 각 부분 간의 반사율 편차가 0.35%이내임을 확인하였다. TEM 사진을 통한 계면분석을 통해 디지털 합금 AlGaAs층의 조성과 두께가 균일함을 확인하였는데, 이는 디지털 합금 AlGaAs층의 성장시 기판 표면의 온도가 불균일하더라도 크게 영향을 받지 않음을 보여준다. 이를 통해 DBR의 균일성에 따라 소자의 특성에 큰 영향을 받는 InAs 양자점을 활성층으로 사용하는 VCSEL의 수율을 향상시키는데 디지털 합금 AlGaAs층을 이용한 DBR이 응용될 수 있음을 보였다.

주제어 : 디지털 합금, DBR, 균일도, VCSEL

1. 서 론

화합물 반도체를 이용한 여러 발광소자는 여러 분야에 응용되고 있는데, 특히 광통신 영역에 주로 사용되는 $1.3\mu\text{m}$ 대역의 반도체 레이저는 늘어나는 광통신 수요와 맞물려 그 중요성이 더해가고 있다. 현재 사용되고 있는 레이저 다이오드는 대부분 측면발광 구조를 가지는데 이보다 광섬유와의 연결이 쉽고, 단일모드 발진 특성 등의 장점을 가지는 수직발광 구조의 레이저광원인 VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)이 차세대 광통신용 레이저광원으로 활발히 연구되고 있다 [1]. 이러한 VCSEL은 사용하는 기판의 종류에 따라 InP계열과 GaAs계열로 구분할 수 있다. InP 기판상에 VCSEL을 제작하기 위해서는 InP와 InGaAsP/InGaAlAs를 이용한 DBR (Distributed Bragg Reflector)를 사용해야 하는데, InP와 InGaAsP/InGaAlAs 물질간의 낮은 굴절률 차이로 인하여 VCSEL 발진을 위한 DBR의 두께가 두꺼워지게 된다. 따라서 InP 기판을 이용한 VCSEL은 InP계열

물질의 낮은 열전달계수 특성과 더불어 두꺼운 DBR층으로 인해 활성층에서 발생하는 열을 쉽게 제거할 수 없는 단점을 갖는다 [2]. 한편, GaAs 기판상에 $1.3\mu\text{m}$ 대역의 VCSEL을 제작하는 경우, AlGaAs/GaAs층을 이용한 DBR의 제작은 비교적 쉬운데 비해 활성층인 InGaAs 양자우물을 만들기 어려운 단점이 있어, 최근에는 양자우물보다 낮은 문턱전류밀도와 높은 이득을 가지는 In(Ga)As 양자점을 활성층으로 하는 VCSEL에 대한 연구가 많이 진행되고 있다 [3-5].

GaAs 기판상에 제작되는 In(Ga)As 양자점을 이용한 $1.3\mu\text{m}$ 파장 대역의 VCSEL의 특성을 향상시키기 위해서는 활성층인 In(Ga)As 양자점의 특성이 향상되어야함은 물론, 산화 알루미늄을 이용한 전류차단층의 특성 및 DBR 반사층의 특성이 향상되어야 한다 [6,7]. In(Ga)As/GaAs 양자점 활성층은 매질 이득이 매우 크지만 양자점의 크기의 불균일성에서 기인하는 불균일한 이득 특성 때문에 양자우물과 달리 레이저 발진시 발진파장에 이득이 집중되지 않는 특성을 갖는다. 이러한 이유로

* [전자우편] wjchoi@kist.re.kr

In(Ga)As/GaAs 양자점 활성층을 이용하는 VCSEL의 높은 수율을 얻기 위해서는 AlGaAs/GaAs DBR 반사층이 기판 전 영역에서 균일한 광학적 특성을 가지게 만드는 것이 매우 중요하다. AlGaAs/GaAs DBR의 우수한 광학적 특성을 위해서는 AlGaAs층에서의 Al 조성을 변화시키지 않으면서 두 물질층을 정확한 두께로 적층시키는 것이 필수적이다. 하지만 넓은 면적의 기판 위에 AlGaAs층을 성장시킬 경우, 기판 표면에서의 미세한 온도의 불균일한 분포에 의해서 기판에 성장되는 Al/Ga 비율이 변화되어 AlGaAs층에서의 Al 조성의 변화 및 이에 따른 굴절률 변화가 수반되고, 이에 따라 기판 전 영역에서 DBR 반사층의 광학적 특성이 불균일하게 되는 문제가 생기게 된다.

기판 전 영역에서 에피의 균일성 문제를 해결하기 위해 기판을 가열하는 히터를 개선하는 등의 여러 시도가 있어왔다 [8,9]. 이러한 시도 가운데 최근 AlGaAs/GaAs DBR에 사용되는 AlGaAs층을 디지털 합금(digital-alloy) 성장방법을 이용해 성장시키는 방법이 연구되고 있다. 디지털 합금 성장방법은 AlGaAs층의 성장시 Al과 Ga를 동시에 기판 상에 쌓는 아날로그 성장방법과 달리 얇은 층의 AlAs층과 GaAs층을 번갈아 적층시켜 AlGaAs층을 만드는 방법이다 [6]. 이 방법은 기판 위에서 AlAs층 또는 GaAs층 중 한 층만이 성장되므로, 기존의 아날로그 성장방법에서 기판 온도의 불균일성에 기인하는 불균일 AlGaAs층 성장의 단점을 극복할 수 있다 [8].

본 논문에서는 3인치 크기의 1/4 크기의 GaAs기판 상에 디지털 합금 AlGaAs층과 아날로그

AlGaAs층을 이용한 AlGaAs/GaAs DBR을 각각 제작하고 기판 상의 여러 부분에서 반사 스펙트럼을 측정 비교함으로써 디지털 합금 AlGaAs를 사용한 DBR의 특성이 아날로그 AlGaAs를 사용한 DBR에 비해 매우 균일함을 확인하였다.

II. AlGaAs/GaAs DBR의 설계/제작 및 측정

디지털 합금 AlGaAs층을 사용한 AlGaAs/GaAs DBR과 기존의 아날로그 성장방식으로 성장시킨 AlGaAs층을 사용한 AlGaAs/GaAs DBR 사이의 광학적 특성 차이를 알아보기 위하여, 각각의 성장방법을 사용한 DBR 구조를 설계하고 반사 스펙트럼을 계산하였다. 반사 스펙트럼의 계산을 위해서 1차원 propagation matrix 방법을 사용하였다 [10,11]. 굴절률이 n_1 과 n_2 로 다른 두 가지 물질을 m 층 적층시켜 만드는 DBR에서 Bragg 파장 영역의 반사율 r

은 $r = \frac{1 - (n_1/n_2)^{2m}}{1 + (n_1/n_2)^{2m}}$ 로 계산되는데, 적층시키는

횟수가 늘어날수록, 두 물질의 굴절률 차이가 클수록 반사율이 좋아지는 경향을 가지는 것을 알 수 있다. AlGaAs/GaAs DBR에서 사용하는 물질인 AlGaAs층은 Al의 조성비가 늘어날수록 굴절률이 작아지는 경향을 나타내어 GaAs층과의 굴절률 차이가 커지게 되므로, Al 조성비가 큰 AlGaAs층을 사용하는 것이 적은 횟수의 적층으로 1.3 μ m 파장대역에서 높은 반사율을 갖는 DBR을 만들 수 있다 [12].

본 연구에서는 Al 조성비가 90%인 Al_{0.9}Ga_{0.1}As 층과 GaAs층을 사용하여 1.3 μ m 파장 대역에서 큰

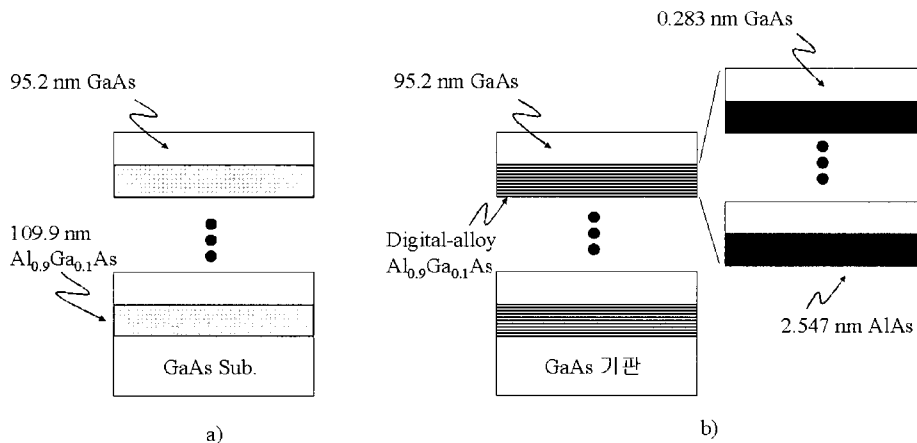


그림 1. a) 아날로그(analog) AlGaAs/GaAs DBR 구조, b) 디지털 합금 (digital-alloy) AlGaAs/GaAs DBR 구조.

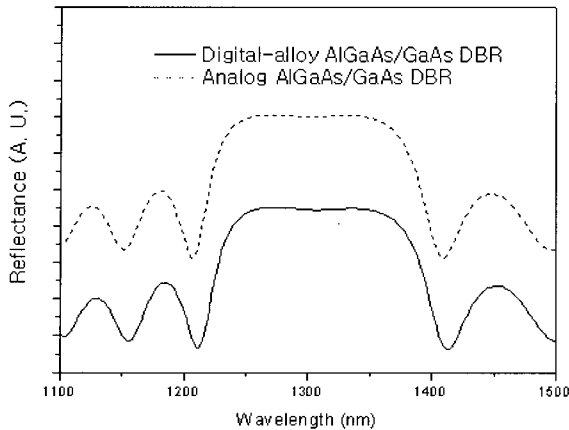


그림 2. 디지털 합금 AlGaAs/GaAs DBR 과 아날로그 AlGaAs/GaAs DBR 의 반사율 계산 비교.

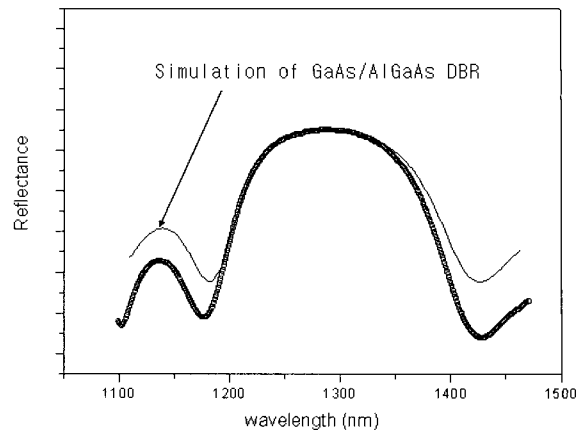


그림 3. 8층 적층한 디지털 합금 AlGaAs/GaAs DBR 반사율 계산과 실제 성장한 DBR에서 측정된 반사율 비교.

반사율을 가지도록 AlGaAs/GaAs DBR을 설계하였다. 아날로그 성장방식으로 성장시킨 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 사용한 AlGaAs/GaAs DBR은 95.2nm 두께의 GaAs층과 109.9nm 두께의 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 번갈아 적층시킨 구조로 그림 1a와 같이 설계하였다. 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 이용한 AlGaAs/GaAs DBR은 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층이 여러 겹의 AlAs층과 GaAs층으로 이루어진 것을 제외하면 아날로그 DBR의 구조와 동일하다. 90% Al 조성의 디지털 합금 AlGaAs층을 만들기 위해서 AlAs층과 GaAs층의 두께비는 9:1로 설계하였다. 그림 1b는 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 이용한 AlGaAs/GaAs DBR의 구조를 나타낸다.

그림 2는 GaAs층과 아날로그 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 17번 적층시킨 AlGaAs/GaAs DBR과 동일한 적층 횟수를 갖는 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 사용한 AlGaAs/GaAs DBR의 반사 스펙트럼의 계산 결과이다. 그림 2의 결과로부터 각각의 성장방법으로 성장시킨 AlGaAs/GaAs DBR의 반사 스펙트럼이 잘 일치함을 알 수 있는데 이는 아날로그 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층과 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층은 광학적으로 동일한 특성을 갖는다는 것을 의미하며, 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층에 있는 GaAs층과 AlAs층 사이의 경계면은 광학적인 반사와 투과에 있어서 전혀 문제가 되지 않음을 의미한다. 또한 디지털 합금 AlGaAs층을 사용한 GaAs/AlGaAs DBR을 제작했을 때, 이론적인 계산값과 어떤 차이를 보이는지 확인하기 위하여 그림 1b에 나타낸 구조로 GaAs층과 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 8번 적층시킨 시

료를 성장한 후, 이 시료의 파장대 반사율을 측정 한 후 GaAs층과 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 8번 적층시켰을 때의 계산 결과와 비교하였다.

디지털 합금 AlGaAs/GaAs DBR의 $1.3\mu m$ 파장 대역의 VCSEL에서의 응용성을 확인하기 위하여, 3인치 크기의 1/4 크기의 반절연 GaAs 기판에 아날로그 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층과 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 각각 이용하여 그림 4a와 같은 cavity 구조를 갖는 두 개의 시료를 성장하였다. 시료는 $300^{\circ}C$ 에서 30분간 가열하여 outgas한 후, VG 80H MBE (molecular beam epitaxy) 장비를 이용하여 $580^{\circ}C$ 에서 성장하였다. 이 구조에 사용된 위 아래 두 개의 DBR층은 95.2nm 두께의 GaAs층과 109.9nm 두께의 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 11번 번갈아 적층시켜 제작하였으며, 아날로그 방식의 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층은 그림 1a와 같은 방법으로, 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층은 그림 1b에 나타낸 것과 같이 GaAs층과 AlAs층을 번갈아 적층시킨 방법을 사용하여 제작하였다. 성장된 두 시료에서 그림 4b와 같이 7영역을 선택한 후, 각 영역에서의 반사 스펙트럼을 측정 비교하였다. 또한 TEM (Transmission electron microscopy) 사진을 통하여 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 이루는 AlAs층과 GaAs층 사이의 계면을 분석하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층과 GaAs층을 8번 적층시켜 만든 AlGaAs/GaAs DBR 시료에서 실제 측정된 반사 스펙트럼 결과와 동일한 구조

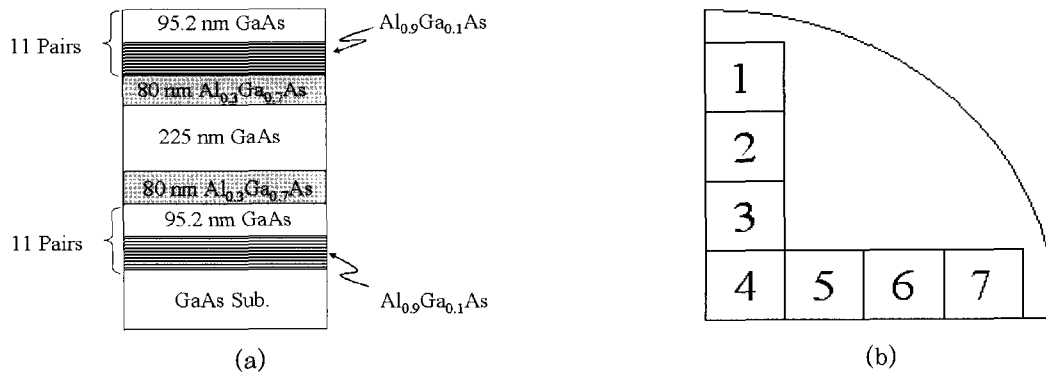


그림 4. 11층 적층한 AlGaAs/GaAs DBR 구조.

의 DBR을 계산한 반사 스펙트럼 결과를 보여준다. 그래프에서 실선은 계산한 반사율 결과를 나타내며, 점선은 실제 성장한 샘플에서 측정된 반사율 결과를 보여주는데, 반사율이 1.3 μ m 파장대역에서 최대를 보이며 계산 결과와 실제 반사율 측정 결과가 잘 들어맞음을 알 수 있다. 이는 계산을 통해 보였던 디지털 합금 Al_{0.9}Ga_{0.1}As층에 있는 GaAs층과 AlAs층 사이의 경계면이 광학적인 반사와 투과에 영향을 주지 않는다는 점을 다시 확인해주며, 아날로그 성장 방식의 Al_{0.9}Ga_{0.1}As층과 디지털 합금 Al_{0.9}Ga_{0.1}As층의 광학적 특성이 동일하다는 기존의 연구 결과와 일치한다. [6, 8]

그림 5a는 아날로그 방식의 Al_{0.9}Ga_{0.1}As층을 사용한 AlGaAs/GaAs DBR cavity 시료 표면의 영역별 반사율 측정결과를 나타내며, 그림 5b는 디지털 합금 Al_{0.9}Ga_{0.1}As층을 사용한 AlGaAs/GaAs DBR cavity 시료의 영역별 반사율 측정결과이다. 두 시료의 반사율 측정 그래프에서 한가운데 영역에서 반사율이 급격히 떨어지는 부분은 그림 4에 나타낸 바와 같이 위, 아래 두 개의 DBR을 가지는 시료의 구조에 의한 패브리-페롯 통과현상 때문이다. 그림 5a에서는 중심 파장 영역이 1.0 μ m 근처인데, 이는 기존에 다른 방법을 통해 측정되었던 GaAs의 성장률 오차로 인해 GaAs와 AlGaAs층의 두께 및 AlGaAs층에서의 Al 조성비가 예상치와 달라졌기 때문이다. GaAs의 성장률이 달라지면 GaAs층과 AlGaAs층의 두께가 모두 달라지게 되므로 Bragg 조건을 만족하는 파장 대역이 달라지게 되어 DBR에서의 중심 파장이 바뀌게 된다. 따라서 AlGaAs/GaAs DBR을 성장시킨 후 파장대 반사율을 측정함으로써 GaAs층과 AlGaAs층이 성장한 실제 두께를 정확하게 예측 가능하며 이를 통해 Ga의

성장률을 보정하는 것이 가능하다. 본 실험의 경우 GaAs의 실제 성장률이 예상치의 약 75% 정도일 때 중심파장 대역이 1.0 μ m 근처로 옮겨짐을 계산을 통해 확인하였다. Ga As의 성장률 오차는 GaAs층과 AlGaAs층의 두께에 영향을 줄 뿐, 기관 전 영역에서 AlGaAs층의 Al 조성비를 변화시키지 않는다. 즉 AlGaAs층의 두께를 변화시키지만 층 내의 Al 조성비는 변화시키지 않으므로 기관 표면의 여러 영역에서의 반사율 차이와는 무관하다.

아날로그 Al_{0.9}Ga_{0.1}As층을 사용한 AlGaAs/GaAs DBR의 기관 전 영역에서의 균일성을 비교해보면, 기관 상의 일곱 영역들에서의 중심 파장 대역이 984nm에서 1012nm까지의 분포를 보이며 반사율 역시 심하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 전 파장 영역에서의 각 영역 사이의 반사율의 표준편차는 2.56으로 나타나며, 중심파장 근처에서 각 영역 사이의 반사율의 분포는 10.6%로 광학적 특성이 균일하지 않아 소자로 적용시키기에 무리가 있음을 알 수 있다.

반면 디지털 합금 Al_{0.9}Ga_{0.1}As층을 사용한 DBR의 각 영역에서의 반사율 결과는 시료 표면의 거의 전 영역에서 모두 유사한 형태를 보이며, 전 파장 영역에서의 각 영역 사이의 반사율의 표준편차는 0.32로 나타났다. 이 때 중심 파장 근처에서의 각 영역 사이의 반사율의 분포는 0.35% 이내로 측정되었다. 즉 디지털 합금 성장방법으로 성장시킨 AlGaAs/GaAs DBR이 3인치 크기의 1/4 크기 정도의 대면적에서도 균일하게 성장되었음을 의미한다. 이는 디지털 합금 AlGaAs층이 기관 위에서 이원화 합물인 AlAs층 및 GaAs층의 교대 성장으로 이루어져 기관 전체에서의 온도 불균일성에 거의 영향을 받지 않았고, 이에 따라 AlGaAs층의 Al 조성

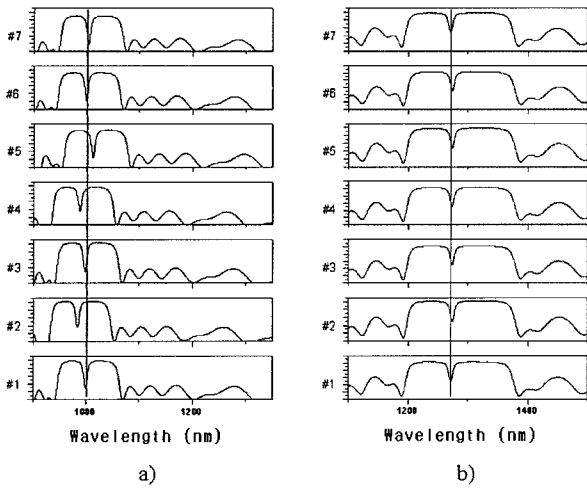


그림 5. a) 아날로그 AlGaAs/GaAs DBR 구조에서의 반사율 측정 결과, b) 디지털 합금 AlGaAs/GaAs DBR 구조에서의 반사율 측정 결과.

기판 전체에서 일정하게 유지되어 반사 스펙트럼 분포 특성이 기판 전 영역에서 균일한 것으로 해석할 수 있다 [8].

그림 6은 디지털 합금 AlGaAs층의 TEM 이미지이다. 그림에서 보는 바와 같이 디지털 합금 AlGaAs층을 이루는 AlAs층과 GaAs층 사이의 경계면은 뚜렷하며, AlAs층의 두께가 최대 2.8nm에서 최소 1.2nm 정도의 분포로 거의 균일함을 알 수 있다. 디지털 합금 AlGaAs층에서의 Al 조성비는 AlAs층과 GaAs층의 두께비에 의해 결정되는데, TEM 사진 분석을 통해 AlAs층과 GaAs층의 두께비가 9:1로 나타나 정확한 조성비의 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 디지털 합금이 구현되었음을 알 수 있다. 디지털 합금 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 층을 이용한 AlGaAs/GaAs DBR을 성장시킬 때는 그림 5a에서 얻어진 Ga의 성장률 값을 보정하여 성장하였는데, 그림에도 불구하고 중심 파장 대역이 $1.3\mu m$ 에서 약간 벗어나 있는 것은 파장에 따라 굴절률이 변하는 분산 효과를 고려하지 않고 DBR을 설계해서 나오는 오차로 추정된다.

본 실험의 결과로 디지털 합금 AlGaAs층을 이용한 AlGaAs/GaAs DBR은 기존의 아날로그 성장방법을 이용한 DBR과 유사한 광학적 특성을 가지면서도 보다 넓은 면적에서 보다 균일한 반사율 특성을 보임을 알 수 있다. 이러한 디지털 합금 AlGaAs층을 이용한 AlGaAs/GaAs DBR의 우수한 반사 스펙트럼 분포 특성은 균일하지 않은 이득스

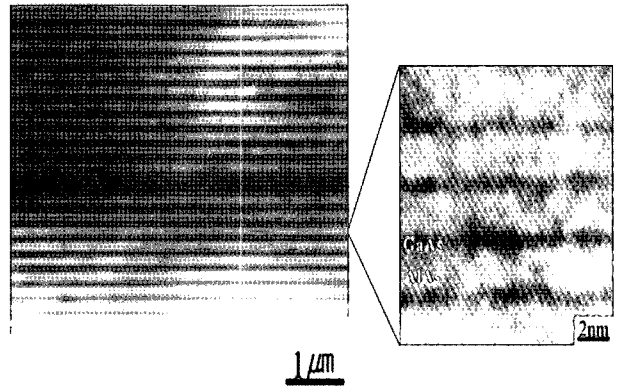


그림 6. 디지털 합금 AlGaAs/GaAs DBR 구조의 TEM 사진.

펙트럼을 갖는 In(Ga)As/GaAs 양자점 VCSEL에 적용되어 수율향상에 도움이 될 것으로 기대된다.

IV. 결론

본 논문에서는 디지털 합금 성장방법을 사용한 AlGaAs층을 이용한 GaAs/AlGaAs DBR이 기존의 방법을 사용한 GaAs/AlGaAs DBR과 유사한 광학적 특성을 가지는 것을 모의 실험과 실제 시료의 파장대 반사율을 측정하여 확인하였다. 특히 DBR의 성장 후 반사 스펙트럼을 측정함으로써 성장을 정밀하게 보정하는 것이 가능함을 보였으며, 디지털 합금 AlGaAs/GaAs DBR은 전 기판 영역에서 보다 향상된 균일성을 가지는 장점이 있음을 보였다. 이는 디지털 합금 성장방법을 사용한 AlGaAs층이 기판 표면의 온도 불균일성의 영향을 받지 않는다는 사실을 재확인한 결과이며, 디지털 합금 AlGaAs/GaAs DBR을 채용한 기존의 GaAs계 VCSEL의 기판내 발진파장 균일성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, In(Ga)As 양자점을 사용하는 GaAs계 장파장 VCSEL의 수율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원의 나노과학기술 국가 R&D 프로젝트, 과학기술부 지원의 국가지정연구실 사업과 KIST 기관고유사업의 지원을 통하여 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] M. G. Peters, B. J. Thibeault, D. B. Young, J. W. Scott, F. H. Peters, A. C. Gossard, and L. A. Coldren, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 3411 (1993).
- [2] Y. Qian, Z. H. Zhu, Y. H. Lo, D. L. Huffaker, D. G. Deppe, H. Q. Hou, B. E. Hammons, W. Lin, and Y. K. Tu, *Appl. Phys. Lett.* **71**, 25 (1997).
- [3] V. M. Ustinov, N. A. Maleev, A. E. Zhukov, A. R. Kovsh, A. Yu. Egorov, A. V. Lunev, B. V. Volovik, I. L. Krestnikov, Yu. G. Musikhin, N. A. Bert, P. S. Kop'ev, Zh. I. Alferov, N. N. Ledentsov, and D. Bimberg, *Appl. Phys. Lett.* **74**, 2815 (1999).
- [4] D. L. Huffaker, G. Park, Z. Zou, O. B. Shchekin, and D. G. Deppe, *Appl. Phys. Lett.* **73**, 2564 (1998).
- [5] R. P. Mirin, J. P. Ibbetson, K. Nishi, A. C. Gossard, and J. E. Bowers, *Appl. Phys. Lett.* **67**, 3795 (1995).
- [6] P. G. Newman, J. Pamulapati, H. Shen, M. Taysing-Lara, J. Liu, W. Chang, G. Simonis, B. Koley, M. Dagenais, S. Feld, and J. Loehr, *J. Vac. Sci. Technol. B* **18**, 1619 (2000).
- [7] J. K. Kim, T. A. Strand, R. L. Naone, and L. A. Coldren, *Appl. Phys. Lett.* **74**, 2752 (1999).
- [8] J. D. Song, J. M. Kim, and Y. T. Lee, *J. Cryst. Growth* **237-239**, 1504 (2002).
- [9] M. Nagai, K. Matsumoto, M. Morishima, H. Horie, Y. Niwata, and T. Hayakawa, *J. Cryst. Growth* **127** (1993).
- [10] S. L. Chuang, *Physics of optoelectronic devices* (John Wiley & Sons, Inc. 1995).
- [11] L. A. Coldren, *Diode lasers and photonic integrated circuits* (John Wiley & Sons, Inc. 1995), p.87-93
- [12] S. Adachi, *Properties of AlGaAs* (Short Run Press Ltd., 1993).

Improved Uniformity of GaAs/AlGaAs DBR Using the Digital Alloy AlGaAs Layer

N. K. Cho^{1,2}, J. D. Song¹, W. J. Choi^{1*}, J. I. Lee¹, and Heonsu Jeon²

¹*Nano Device Research Center, KIST, Seoul 136-791*

²*School of Physics, Seoul National University, Seoul 151-747*

(Received February 10, 2006)

A distributed Bragg reflector (DBR) for the application of 1.3 μ m vertical cavity surface emitting laser (VCSEL) has grown by digital-alloy AlGaAs layer using the molecular beam epitaxy (MBE) method. The measured reflection spectra of the digital-alloy AlGaAs/GaAs DBR have uniformity in 0.35% over the 1/4 of 3-inch wafer. Furthermore, the TEM image showed that the composition and the thickness of the digital-alloy AlGaAs layer in AlGaAs/GaAs DBR was not affected by the temperature distribution over the wafer whole surface. Therefore, the digital-alloy AlGaAs/GaAs DBR can be used to get higher yield of VCSEL with the active medium of InAs quantum dots whose gain is inhomogeneously broadened.

Keywords : Digital-alloy, DBR, Uniformity, VCSEL

* [E-mail] wjchoi@kist.re.kr