

CuPt-type ordering in Zn-rich $Cd_xZn_{1-x}Te$ epilayers grown on GaAs and ZnTe/GaAs

Myoung Seok Kwon[†]

Department of Materials Science and Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received July 15, 2003)

(Accepted September 4, 2003)

Abstract CuPt-type ordering has been observed in Zn-rich $Cd_xZn_{1-x}Te$ epilayers grown on (001)GaAs and ZnTe/GaAs(001) substrates. X-ray diffraction, electron beam diffraction, high-resolution transmission electron microscopy, and low-temperature photoluminescence have been used to characterize the CuPt-type ordering in Zn-rich $Cd_xZn_{1-x}Te$ epilayers.

Key words Ordering, CuPt-type, $Cd_xZn_{1-x}Te$, Epilayer, GaAs, ZnTe/GaAs

GaAs, ZnTe/GaAs 기판위 성장된 고농도 Zn 조성의 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층에서의 CuPt형 나노 규칙상 형성

권명석^{*}

서울시립대학교 신소재공학과, 서울, 130-743

(2003년 7월 15일 접수)

(2003년 9월 4일 심사완료)

요약 GaAs (001) 기판과 완충층을 사용한 ZnTe/GaAs(001) 기판 위에 고농도의 Zn 조성을 가지는 $Cd_xZn_{1-x}Te$ /GaAs, $Cd_xZn_{1-x}Te$ /ZnTe/GaAs 에피층 구조를 성장시켰다. 이때 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층에서의 CuPt형의 규칙상 형성, 미세구조적 특성과 광발광특성을 X-선회절과 전자회절상, 고분해능 투과전자현미경, 그리고 저온 광발광 측정 장치를 이용하여 연구하였다.

1. 서론

2족-6족 3원계 화합물 반도체인 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 는 조성 x 에 따라서 금지대간격(bandgap)을 1.5 eV에서 2.3 eV까지 변화시킬 수 있는 직접전이형 넓은 금지대간격의 반도체 재료이며, GaAs 기판 위에 성장시킨 $Cd_xZn_{1-x}Te$ /GaAs 이종접합구조는 청색-녹색 파장 영역의 광전자적 소자 응용 가능성이 기대된다[1]. 또한, GaAs 기판 위 성장된 양질의 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피박막은 적외선 감지소자 재료인 HgCdTe(MCT) 에피성장을 위한 대면적의 격자 정합 기판 재료로서의 가능성도 기대할 수 있다[1].

그러나, GaAs 기판 위 2족-6족 화합물반도체의 에피박막 성장 시 발생하게 되는 상호확산에 의한 혼합 효과와 에피층과 GaAs 기판과의 큰 격자상수 차이에 기인하는 높은 밀도의 결정결함과 격자 변형 등의 문제점들

이 존재한다. $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피박막은 MBE, MOCVD 등과 같은 다양한 에피성장 방법으로 GaAs 기판 위에 성장시킬 수 있다. 한편 3족-5족 3원계 화합물반도체 에피층 성장시와 마찬가지로, 규칙상(ordered phase)은 CdTe-ZnTe 2원계 시스템의 열역학적 평형상태도 상으로는 bulk 상태에서는 안정상 혹은 준안정상으로 예측되지 않는 상이다[2]. 그러나 다른 3족-5족 화합물과 마찬가지로 실제 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피박막의 성장 시 CuPt형, Cu_3Au 형 등의 규칙상 형성들이 보고되고 있다[3-5]. 그러나 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층 내의 규칙상 형성이 금지대간격과 전자구조에 미치는 결과나, 광발광(PL; photoluminescence) 특성 등에 미치는 영향 등이 직접적으로 보고된 적은 없다. 3족-5족인 InGaAs의 경우, 규칙상의 형성이 금지대간격을 변화시킨다는 연구 보고가 있었다[6].

본 논문에서는 GaAs 기판과 ZnTe/GaAs 완충층 구조 기판 위에 성장시킨 고농도 Zn 조성의 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층에서의 CuPt형의 규칙상 형성과 나노 스케일의 규칙상 분역(domain) 구조를 보고한다. 성장된 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층의 조성은 X-선회절(XRD) 실험으로 Vegard 규칙

[†]Corresponding author

Tel: +82-2-2210-5611

Fax: +82-2-2215-5863

E-mail: mskwon@uos.ac.kr

[7]에 따라 결정하였다. 규칙상의 형성과 원자배열, 도메인 구조는 고분해능 투과전자현미경(HRTEM)과 제한영역 전자회절상(SADP)을 이용하여 분석하였다. 그리고, 규칙상이 형성된 고농도 Zn 조성의 Cd_xZn_{1-x}Te/GaAs, Cd_xZn_{1-x}Te/ZnTe/GaAs 구조의 저온(15 K) 광발광 특성을 측정하였다.

2. 실험 방법

성장법은 기존에 보고되었던 DWTGVTD(double-well temperature-gradient vapor-transport deposition)법[8]을 이용하였다. 규칙상이 형성된 Cd_xZn_{1-x}Te/GaAs, Cd_xZn_{1-x}Te/ZnTe/GaAs 구조와 비교를 위한 표준시편으로 규칙상이 형성되지 않는 ZnTe/GaAs 구조를 성장하였다. GaAs 기판과 CdTe 에피층은 약 14.6%, GaAs 기판과 ZnTe 에피층은 약 7.8%의 격자부정합도를 가지며, GaAs 기판과 Cd_xZn_{1-x}Te 에피층은 조성 x 에 따라 7.8%~14.6%의 격자부정합도가 존재하게 된다. 따라서 GaAs 기판과 Cd_xZn_{1-x}Te 에피층 사이의 격자상수차이를 완화하기 위해 ZnTe층을 완충층으로 사용하였다. 성장 시 기판온도는 350°C, 압력은 10⁻⁶ Torr로 유지시켰다. 성장원으로는 고순도의 다결정 ZnTe를 540°C, CdTe는 412°C로 유지하였다. ZnTe층의 성장속도는 1.2 μm/h, Cd_xZn_{1-x}Te 에피층의 성장속도는 1.2 μm/h였다.

성장된 Cd_xZn_{1-x}Te 에피층의 결정성과 조성은 X-선 회절을 통해 분석하였다. Cd_xZn_{1-x}Te 규칙상 형성의 관찰과 원자배열, 분역(domain) 구조는 고분해능 투과전자현미경과 제한영역 전자회절상을 이용하여 분석하였다. 광발광 스펙트럼은 Ar 이온 레이저 488 nm를 주 여기 광원으로 사용하였고, 극저온 장치를 사용하여 15 K에서 측정하였다.

3. 결과 및 논의

형성된 Cd_xZn_{1-x}Te/GaAs, Cd_xZn_{1-x}Te/ZnTe/GaAs 구조의 성장방향과 화학양론 조성 x 를 X-선 회절을 이용하여 분석하였으며, 표준시편으로 사용한 ZnTe/GaAs 구조의 결과와 함께 Fig. 1에 나타내었다. 사용한 기판(001) GaAs의 004 회절피크는 동일 위치에서 확인할 수 있고, 3개의 에피층구조 모두, 에피층의 성장 방향이 기판과 동일함을 관찰할 수 있고, 각각의 004 회절피크들이 조성 x 에 따라 위치가 변하는 결과를 관찰할 수 있다. 조성을 표준시편 ZnTe/GaAs에 대해 보정하고, Vegard's law를 이용하여, 각각의 조성을 결정한 결과, Cd_xZn_{1-x}Te/GaAs 구조의 조성 x 는 0.06, Cd_xZn_{1-x}Te/ZnTe/GaAs 구조

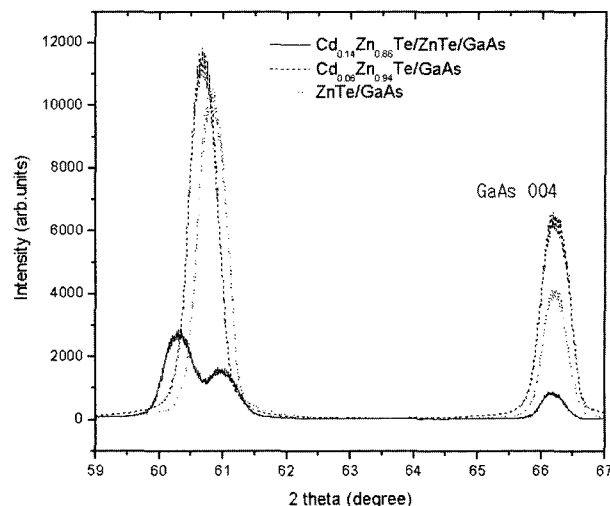


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs, Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te/GaAs, and ZnTe/GaAs.

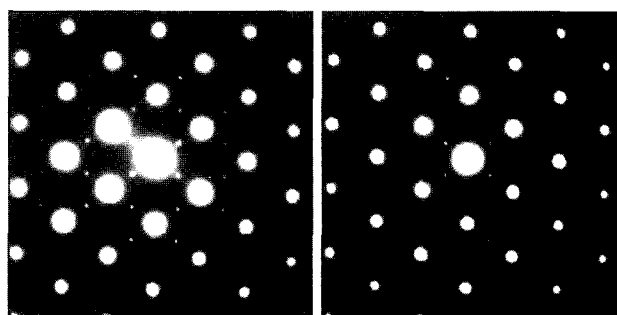


Fig. 2. Selected area electron beam diffraction patterns of Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs (top), and Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te/GaAs (bottom).

의 조성 x 는 0.14로 모두 고농도 Zn 조성의 Cd_xZn_{1-x}Te 에피층이었다. 조성이 결정된 성장 시료들을 단면 TEM으로 관찰한 결과, Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs 구조의 ZnTe 완충층의 두께는 800 nm였다. Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te 에피층의 두께는 모두 1.3 μm 이상의 두께였다.

Fig. 2는 Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs 구조와 Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te/GaAs 구조에서 CuPt형의 Cd_xZn_{1-x}Te 규칙상 형성을 보여주는 [110] 관찰방향의 제한영역 전자회절상 결과이다. 화학 에칭과 광학현미경에 의한 pit 이방성 형태 관찰로부터 전자빔 회절의 관찰방향이 [110]임을 확인할 수 있었다. Fig. 2의 전자회절상에서 불규칙(disordered) 상태의 Cd_xZn_{1-x}Te 에피층의 기본 첨가연광(zincblende) 회절점들을 관찰할 수 있으며, 이외에 {1/2 1/2 1/2} 위치에 규칙상형성에 의한 초격자 위성 회절점들이 추가로 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 추가적 위성 회절점 형태는 다른 3족-5족 3원계 이상의 화합물 반도체 에피 성장 시 널리 보고되어온 CuPt형의 전형적인 형태이며, 이는 {111} 면의 이중 양이온들이 각각 규칙적으로 번갈아 위치하는 CuPt형 규칙상 형성으로부터 기인

한다. 기판인 GaAs와의 계면으로부터 벗어난 영역의 전자회절상인 Fig. 2의 결과에서도 볼 수 있듯이, 본 실험에서 관찰된 CuPt형의 규칙상은 GaAs 기판 또는 ZnTe/GaAs와의 계면 영역에서만 국부적으로 규칙상 회절점들이 관찰된 것이 아니라, Cd_xZn_{1-x}Te 에피층의 두께 방향의 전 영역에 걸쳐 이러한 여분의 규칙상 회절점들이 관찰되었다. 따라서, 본 실험 결과에서는 CuPt형의 규칙상 CdZnTe의 형성이 하부 기판층과의 계면 영역에서만 국한되었다고 할 수 없었다.



Fig. 3. High-resolution TEM micrograph of CuPt-type ordered CdZnTe in Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs.

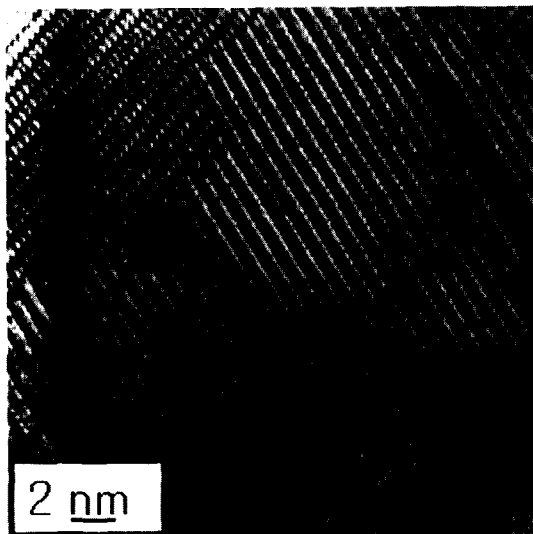


Fig. 4. Magnified High-resolution TEM micrograph of CuPt-type ordered Cd_xZn_{1-x}Te in Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs.

Fig. 3과 Fig. 4는 여분의 회절점들이 관찰된 영역의 단면 고분해능 투과전자현미경 상으로, Cd_xZn_{1-x}Te 에피층의 [110] 관찰 방향에 의한 격자상 이미지를 보여준다. 고분해능상 관찰시, 불규칙화(disordered)된 Cd_xZn_{1-x}Te의 격자 이미지에 비해 CuPt형 규칙화된 CdZnTe 영역의 격자 이미지는 2개의 {111} 면간격을 주기로 변화하는 형태를 관찰할 수 있으며, 이는 {111} 면에서의 배열이 ...Cd/Te/Zn/Te/Cd/Te/Zn/Te... 등과 같이 양이온 규칙성에 기인하는 것이다. 이러한 규칙상 영역은 크기가 10 nm~50 nm 내외의 분역(domain) 구조를 가지고 있었으며, 2가지 구별되는 방향성이 무작위하게 분포되었음을 관찰할 수 있었다.

Fig. 5는 앞서의 전자회절상과 고분해능 격자 이미지의 [110] 관찰방향에서, CuPt형 규칙상 CdZnTe의 두가지 다른 방향성에 대한 원자 모델을 보여준다. CuPt형의 규칙상은 조성적으로 Cd:Zn = 1:1을 만족시켜야 하므

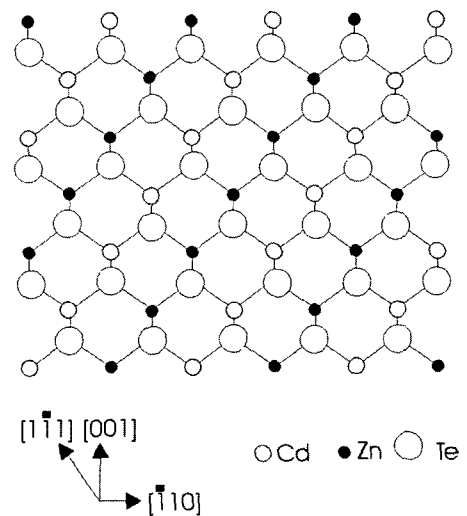
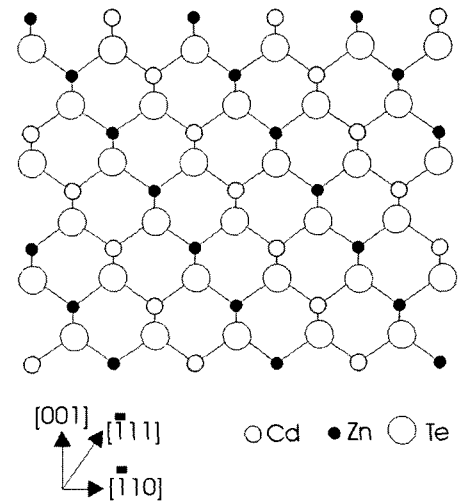


Fig. 5. Schematic diagrams of two variants of CuPt-type ordered Cd_xZn_{1-x}Te.

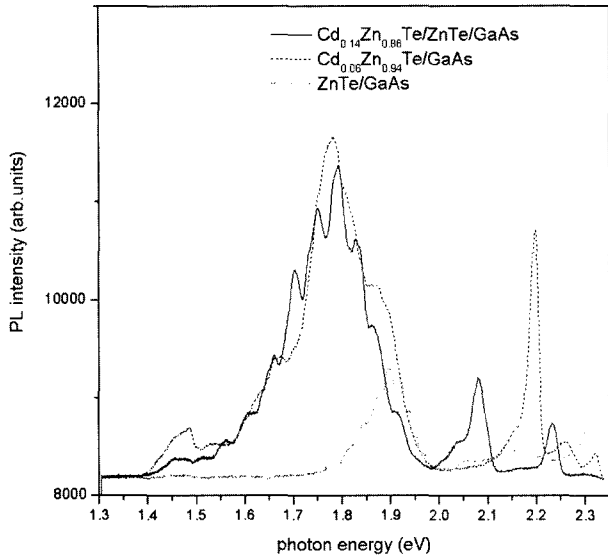


Fig. 6. Low-temperature photoluminescence spectra of $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs$, $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te/GaAs$, and $ZnTe/GaAs$.

로 CuPt 규칙상 분역내의 조성은 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$ 로 표시할 수 있다. 따라서, 규칙상 영역 내의 조성은 고농도 Zn 조성인 불규칙화 매질의 조성인 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te$ 와 $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te$ 와 다른 조성이어야 한다.

Fig. 6은 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs$ 구조와 $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te/GaAs$ 구조, 표준 $ZnTe/GaAs$ 구조의 저온(15 K) 광발광 (PL) 특성 측정 결과를 보여준다. 앞서 고분해능 격자 이미징으로부터 확인할 수 있듯이, 형성된 규칙상들은 불규칙 매질 내에 무작위의 작은 분역 형태로 분포하고 있기 때문에, PL 측정을 규칙상 분역과 불규칙 기질로 분리 선택하여 측정하는 것은 현재로서는 불가능하며, 따라서 얻어진 Fig. 6의 스펙트럼은 규칙상과 불규칙 기질의 특성이 모두 합쳐져서 나오는 결과라 할 수 있다.

본 관심 시스템에서, Olego 등의 MBE 방법에 의해 성장된 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 의 조성에 따른 PL 측정과 금지대간격 접근식 보고[1]가 있으며, 규칙상에 관한 언급은 전혀 없었기 때문에 이들의 결과는 불규칙상태에 관한 결과라 할 수 있다. 이때, 상온 PL의 형태는 금지대간격사이의 전이에 대응하는 1개의 밴드형태로 보고되었다. 그리고 저온 PL 피크 형태는 고에너지에서 bound exciton recombination(BE)에 기인한 좁은 밴드피크 1개와, 저에너지에서 band-to-acceptor 복사천이(e-A)에 기인하는 넓은 밴드 1개로 분리된 형태임이 보고되었다. 300 K에서 피크 폭은 최대 50 meV 내외, 저온 BE 피크 폭은 ~10 meV 내외였다.

300 K에서의 금지대간격은 300 K PL 밴드의 최대강도지점에서 얻어졌으며, 극저온 금지대간격은 저온 PL의 BE 피크로부터 얻어 조성에 따른 접근식을 구하였다[1]. 한편, 본 연구의 Fig. 6 결과에서 고에너지의 BE 피크

최대치로부터 얻을 수 있는 에너지간격은 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te$ 는 2.079 eV, $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te$ 는 2.197 eV였다. 이에 비해 Olego 등의 연구결과와 접근식에 의하면, 15 K에서 금지대간격은 CdTe가 1.597 eV, ZnTe가 2.376 eV이며, $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te$ 는 2.245 eV, $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te$ 는 2.376 eV이다. 따라서 CuPt형의 규칙상 형성의 영향으로 금지대간격이 감소하는 효과가 나타나는 것으로 사료된다. 또한 지난 연구결과에 의하면 3족-5족 GaInP 에피층 시스템에서 CuPt형 규칙화 현상에 기인한 금지대간격의 감소가 보고된 예가 있으며, GaInP 에피층의 경우 이러한 영향이 100 meV 내외로 보고되었다[1]. 한편, CuPt 형태의 규칙상의 조성인 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$ 의 불규칙상태의 금지대 간격은 15 K에서 1.943 eV로 계산된다.

표준 시편인 $ZnTe/GaAs$ 구조에서 관찰되는 ~1.9 eV 영역의 밴드는 $ZnTe$ 에서의 oxygen-bound exciton에 의한 1.9 eV의 PL 피크 특성[9]과 일치하는 것으로 사료된다. 이에 비해 앞서의 관찰결과와 같이 CuPt 형태의 규칙상이 형성된 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs$ 구조와 $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te/GaAs$ 구조의 경우 이보다 장파장쪽에서 발광 피크가 더욱 넓은 밴드형태로 존재하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 발광밴드내의 강도 modulation 형태와 넓은 반치폭 등의 관찰은 규칙상 분역 형성을 위해서 필요한 국부적인 조성적 분리와 변조가 발생하고 있음을 간접적으로 보여주는 결과로 판단된다. 참고로 3원계 이상의 화합물 반도체에서 저온 PL 피크의 broadening 효과는 양이온, 즉 Cd와 Zn 원자들의 농도에 따라 통계적인 fluctuation에 기인하는 것으로 보고되었으나, 그 크기는 ~10 meV 이하로, Fig. 6의 큰 피크 폭을 모두 설명할 수는 없다.

또한 Olego 등의 지난 연구결과[1]에서 불규칙 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 의 BE 피크와 e-A 피크 간격은, 조성 $x = 0.52$ 일때 15 meV, $x = 0.46$ 일때 15 meV 등의 적은 수치로 보고되었다. 그러나, CuPt형의 규칙상이 형성된 본 연구결과인 Fig. 6의 피크형태에서는 이러한 사이간격이 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te$ 는 ~280 meV, $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te$ 는 ~400 meV로 큰 간격을 보여주었다. 이는 고농도의 Zn 조성에서 CuPt 규칙상 조성 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$ 영역 형성과 이를 위한 조성적 분리 혹은 상분리가 현저하게 발생하였음을 암시하는 것으로 판단된다. 이외에 관찰되는 여러 위성 피크들은 전위나 적층결함 등의 여러 구조적인 확장결함들이나, donor-acceptor pair 발광 등의 점결합 결합 등으로부터 기인하는 것으로 여겨지며, 추가적인 분석이 요구된다.

종합적으로 본 연구의 결과인 Fig. 6의 발광밴드들은 고농도 Zn 조성인 불규칙 매질 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te$ 와 $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te$ 조성으로부터 나노스케일의 CuPt 규칙상이 형성되기 위한 필수조건인 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$ 조성 분역의 형성과 이를 발생시키기 위한 조성적 변조(modulation)와 분리, 혹은 상분리, 그리고 CuPt 규칙상 형성에 따른 불규칙 매질로

부터의 금지대간격 감소 등을 암시하는 중요한 결과들이라 사료된다.

본 연구의 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층 성장 시 (001)GaAs 기판에 직접 성장시킨 경우와, 기판과의 격자부정합을 줄이기 위해 사용한 ZnTe/GaAs 기판에 성장시킨 2가지 다른 경우 모두 CuPt형의 규칙상 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 이 형성되었다. $Cd_{0.06}Zn_{0.94}Te/GaAs$ 구조에서 기판과 에피층과의 격자상수차이는 8.31%이다. 기판과의 격자부정합을 감소시키기 위해 ZnTe 완충층을 사용한 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te/ZnTe/GaAs$ 구조의 경우, Vegard's law[7]에 의해 예측되는 $Cd_{0.14}Zn_{0.86}Te$ 와 ZnTe 완충층과의 격자상수차이는 0.87%에 불과하다. 그러나, 이러한 두가지 구조에 있어서 모두 성장된 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층 내에 CuPt형의 규칙상이 형성되었으며, 더구나 하부층과의 계면영역과 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층 전체 두께에 걸쳐 고르게 형성되었음을 관찰하였다. 따라서, 규칙상의 형성 기구를 고려할 때, 이전 연구결과들에서 제안된 기판과의 큰 격자상수차이에 기인한 계면 효과, 변형과 응력 기구[3-5]만으로는 규칙상 형성을 완전히 설명하기가 어려움을 암시하며, 향후 증착 개시 전 표면에서의 재배열에 의한 표면 대칭성 변화, 3차원적 핵생성 거동과 기상 반응으로부터의 불안정성 등을 고려한 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층에서의 규칙상 형성 기구 연구가 더 필요할 것으로 제안한다. 이를 통해 나노 스케일 영역의 규칙상 형성과 분포, 물성 등을 공정 변수적으로 제어할 수 있게되고, 이를 통해 새로운 광전자적 응용 가능성에 기여할 수 있을 것이다.

4. 결 론

고농도 Zn 조성의 $Cd_xZn_{1-x}Te$ 에피층 성장 시, GaAs (001) 기판 위 직접 성장 시와 ZnTe/GaAs(001)의 ZnTe 완충층 사용시, 기판 종류에 관계없이, 즉 하부층과의 격자불일치도에 무관하게, 모두 CuPt형의 규칙상이 형성되었다. 형성된 CuPt형 규칙상은 불규칙한 기질 내에 2종류의 방향성이 다르게 무작위하게 분포되어있는 ~10~50 nm 크기의 나노스케일 분역 구조를 이루었다. 고농도 Zn 조성인 거시적 불규칙 기질 조성에서 CuPt형 규칙상 조성인 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Te$ 분역들을 이루기 위해서는 조성적 불균일 또는 분리, 변조 등이 필요하며, 이를 간접적으로 암시하는 저온 광발광 측정 결과를 얻었으며, CuPt형 규

칙상 형성에 의한 금지대 간격 감소와 광발광 특성 변화를 얻었다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었습니다. PL 측정을 도와주신 동국대학교 양자기능 반도체 연구센터에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] D.J. Olego, J.P. Faurie, S. Sivananthan and P.M. Raccach, "Optoelectronic properties of $Cd_xZn_{1-x}Te$ films grown by molecular beam epitaxy on GaAs substrates", Appl. Phys. Lett. 47 (1985) 1172.
- [2] S.-H. Wei, L.G. Ferreira and A. Zunger, "First-principles calculation of temperature-composition phase diagrams of semiconductor alloys", Phys. Rev. B 41 (1990) 8240.
- [3] M.S. Kwon, J.Y. Lee and S.H. Suh, "Observation of CuPt-type ordered structure in CdZnTe during organometallic vapor phase epitaxial growth", Jpn. J. Appl. Phys. Part2 37 (1998) L21.
- [4] M.S. Kwon and J.Y. Lee, "Formation of CuPt-type ordered (Cd,Zn)Te at CdTe/ZnTe interface", J. Cryst. Growth 191 (1998) 51.
- [5] H.S. Lee, J.Y. Lee, T.W. Kim, D.U. Lee, D.C. Choo and H.L. Park, "Coexistence behavior of the CuPt_B-type and the CuAu-I-type ordered structures in highly strained $Cd_xZn_{1-x}Te/GaAs$ heterostructures", Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 1637.
- [6] L.C. Su, S.T. Pu, G.B. Stringfellow, J. Christen, H. Selber and D. Bimberg, "Control and characterization of ordering in GaInP", Appl. Phys. Lett. 62 (1993) 3496.
- [7] H.S. Lee, J.Y. Lee, D.C. Choo, T.W. Kim and H.L. Park, "CuPt-type ordering and ordered domains in $Cd_xZn_{1-x}Te$ epilayers grown on ZnTe buffer layers", J. Kor. Phys. Soc. 42 (2003) S412.
- [8] T.W. Kim, B.J. Koo, M. Jung, S.B. Kim, H.L. Park, H. Lim, J.I. Lee and K.N. Kang, "Growth of CdTe epitaxial films on p-InSb(111) by temperature gradient vapor transport deposition", J. Appl. Phys. 71 (1992) 1049.
- [9] M. Ekawa, Y. Kawakami, T. Taguchi and A. Hiraki, "Fabrication and photoluminescence properties of ZnTe and CdZnTe films by low pressure metalorganic chemical-vapor deposition", J. Cryst. Growth 93 (1988) 667.