

논문 2003-12-6-07

MBE법으로 성장된 CdTe(211)/Si 기판을 이용한 MOVPE HgCdTe 박막의 특성 향상

김진상^a · 서상희^b · S. Sivananthan^c

Improvement of HgCdTe qualities grown by MOVPE using MBE grown CdTe/Si as substrate

Jin-Sang Kim^a, Sang-Hee Suh^b and S. Sivananthan^c

요 약

MBE 방법으로 Si 기판위에 성장된 CdTe(211) 박막위에 MOVPE 법으로 HgCdTe 박막을 성장하였다. 성장된 박막의 표면은 hillock 등의 결함이 없는 매우 균일한 형상을 보였다. HgCdTe 박막표면의 EPD(etch pit density) 및 (422) 결정면의 이중 결정 x-선 회절 피크의 반치폭으로 본 결정성은 GaAs 기판위에 성장된 HgCdTe 박막에 비하여 우수하였다. GaAs 기판 위에 MOVPE 법으로 성장된 HgCdTe는 기판처리 과정에서 유입된 p-형 불순물로 인해 p-형 전도성을 나타내었으나 (211)CdTe 기판 위에 성장된 박막은 77K에서 $8 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 의 운반자 농도를 갖는 n-형 전도성을 보였다. 본 연구의 결과는 최근 요구되고 있는 1024x1024급 이상의 화소를 갖는 대면적 HgCdTe 적외선 소자 제작에 널리 적용될 것으로 판단된다.

Abstract

We report the growth of HgCdTe by metal organic vapor phase epitaxy (MOVPE), using (211)B CdTe/Si substrates grown by molecular beam epitaxy (MBE). The surface morphology of these films is very smooth with hillock free. The etch pit densities (EPD) and full widths at half maximum (FWHM) of x-ray rocking curves exhibited that the crystalline quality of HgCdTe epilayer on MBE grown CdTe/Si was improved compare to HgCdTe on GaAs substrate. The Hall parameters of undoped HgCdTe layers on CdTe/Si showed n-type behavior with carrier concentration of $8 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ at 77K. But HgCdTe on GaAs showed p-type conductivity due to in corporation of p-type impurities during GaAs substrate preparation. It is thought that these results are applicable for large area HgCdTe forcal plane arrays of 1024x1024 format and beyond.

Key Words : HgCdTe, Infrared detector, MOVPE, CdTe

I. 서 론

- a 한국과학기술연구원 박막기술연구센터, 서울 136-791
 b 한국과학기술연구원 21c 프론티어사업 나노소재기술개발사업단, 서울 136-791
 c Microphysics Lab, Dep. of Physics, University of Illinois at Chicago, IL 60607-7059

<접수일자 : 2003년 6월 9일>

HgCdTe 물질을 기반으로 하는 초점 배열면 (forcal plane arrays: FPAs) 고성능 적외선 감지 소자는 최근 들어 점차 그 크기가 커져서 1024x1024급 이상으로 발전되어 가고 있는 추세이다. 이러한 대용량 다 소자를 제작하기 위해서는 10cm^2 이상 대면적을 갖는 양질의 HgCdTe 웨이퍼 성장 기술이 전제 되어야 한다. 이에 따라 기존의 덩어리 성장방법이나 CdTe 혹은 CdZnTe를 기판으로 사용하는 성장 기법으로는 이러한 요구를 충족시킬 수 없다.

CdTe 혹은 CdZnTe 단결정 기판은 가격면에서 매우 고가일 뿐 아니라 기술적으로도 쌍정등의 결함이 쉽게 발생하여 대면적을 얻기가 매우 어렵기 때문이다. 따라서 MOVPE, MBE등의 방법으로 GaAs, Si등 가격이 저렴한 이중 기판 위에 HgCdTe를 대면적으로 성장하는 방법에 관한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.^(1,2)

Si을 기판으로 하여 양질의 CdTe 박막을 MBE 방법으로 성장하는 기술이 보고 된 후 많은 연구가 진행되어 현재에는 HgCdTe/CdTe/Si 구조의 박막 성장법이 개발되기에 이르렀다.⁽³⁾ Si를 기판으로 사용할 경우 가격의 저렴화, 대면적화, 화상신호처리를 위한 Si 판독회로(read out integrate circuit :ROIC)와의 열적 정합등의 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 HgCdTe를 MBE 법으로 성장할 경우 원재료를 사용하는 Hg의 높은 증기압, 느린 성장속도등의 문제점이 있다. 즉, 성장속도가 시간당 1~3 μm 에 불과함으로 최근의 조성이 서로 다른 HgCdTe 다층 박막으로 이루어지는 이중밴드 적외선 감지 소자 등에 요구되는 25 μm 두께의 HgCdTe 박막을 얻기 위해서는 최소 8시간 이상 성장이 이루어 져야 한다.

MOVPE 법으로 대면적의 HgCdTe 박막을 성장하는 경우 기판으로는 GaAs가 대부분 사용되고 있다. 이 방법의 가장 큰 문제점으로는 hillock등 표면 형상이 나쁘다는 것이었으나 1족 금속 원소를 포함하는 용액으로 성장 전에 Ga 기판을 처리하는 방법으로 거의 해결되었다.^(4,5) 그러나 메가픽셀급 이상의 소자에 사용되기 위해서는 Si ROIC와의 열적정합이 매우 중요하게 될 것이며 궁극적으로 Si을 기판으로 하여 대면적의 HgCdTe를 성장하는 기술이 개발되어야 할 것으로 여겨진다.

MOVPE 방법으로는 Si 기판위에 소자 제작이 가능한 양질의 HgCdTe를 성장시키는 기술은 아직까지 보고되고 있지 않다. 본 연구에서는 Si 기판위에 MBE 법으로 성장된 CdTe 웨이퍼 위에 MOVPE 법으로 HgCdTe 박막을 성장하고자 하였다. MOVPE 방법의 경우 MBE 법에 비해서 성장 속도가 3배 이상 빨라 생산성이 좋다는 장점을 가지고 있다. 또한 기판이 MBE 법으로 성장된 대면적 CdTe 웨이퍼이므로 메가픽셀급 이상의 소자제작에 널리 이용될 수 있을 것이라 여겨진다. 이러한 방법으로 성장된 HgCdTe 박막의 결정성, 전기적 특성을 GaAs 기판위에 성장된 박막과 비교하여 보았으며 소자 제작 가능성에 대해서 알아보았다.

II. 실험 방법

Thomas Swan사에서 제작한 수평 반응관식 MOVPE 장비를 이용하여 IMP (Interdiffused Multilayered Process) 방식으로 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x=0.2\sim 0.3$) 박막을 성장하였다.⁽⁶⁾ GaAs(001) 기판 및 MBE 법으로 Si(211) 면 위에 5 μm 두께로 성장된 CdTe (211) 면을 기판으로 사용하였다. 이 기판은 미국 일리노이대학 (University of Illinois at Chicago)의 마이크로 물리연구실로부터 공급되었다. 자세한 기판의 성장방법은 참고문헌에 자세히 서술되어있다.⁽⁷⁾ 성장전 기판은 0.5% Br-메탄올에 1분간 에칭하여 표면의 산화막을 제거하였다.

MO-소스로는 dimethyl cadmium (DmCd), diisoprophyle telluride (DiPTe)을 사용하였으며 Hg 공급원으로는 Hg 자체를 수정보트에 놓고 가열하는 방식을 택하였다. 성장온도는 385 $^{\circ}\text{C}$ 였으며 성장속도는 시간당 8 μm 정도였다.

$\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 의 조성은 FTIR 측정을 통하여 계산하였다. 박막의 결정성을 알아보기 위하여 HgCdTe(422) 반사면의 이중결정 회절 x-선 스펙트럼의 반치폭을 측정하였다. Cu-K α_1 x-선 빔을 사용하였으며 1차 결정으로는 (400) GaAs 단결정 웨이퍼를 사용하였다. EPD (etch pit density) 측정을 통하여 CdTe 기판 및 HgCdTe 박막의 전위밀도를 관찰하였다. 성장된 HgCdTe 박막은 전기적 특성 측정을 위하여 Hg-포화 분위기 220 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리를 행하였다. 온도에 따른 Hall 측정을 통하여 성장된 박막의 전기적 특성을 평가 하였다.

III. 결과 및 검토

그림 1은 MBE 법으로 성장된 CdTe 기판 및 GaAs 기판위에 MOVPE법으로 성장된 HgCdTe 박막의 표면 형상을 보여주고 있다. 두 시료 모두 거시적으로 거울면과 같은 형상을 나타내었다. GaAs 기판위에 성장된 경우 (그림 1.b) [110] 방향으로 굴곡을 갖는 형상을 보였으며 굴곡의 깊이는 AFM으로 분석한 결과 100 nm 정도로 나타났다. HgCdTe 박막 표면의 hillock의 밀도는 100/cm 2 정도의 값을 보여주었다.

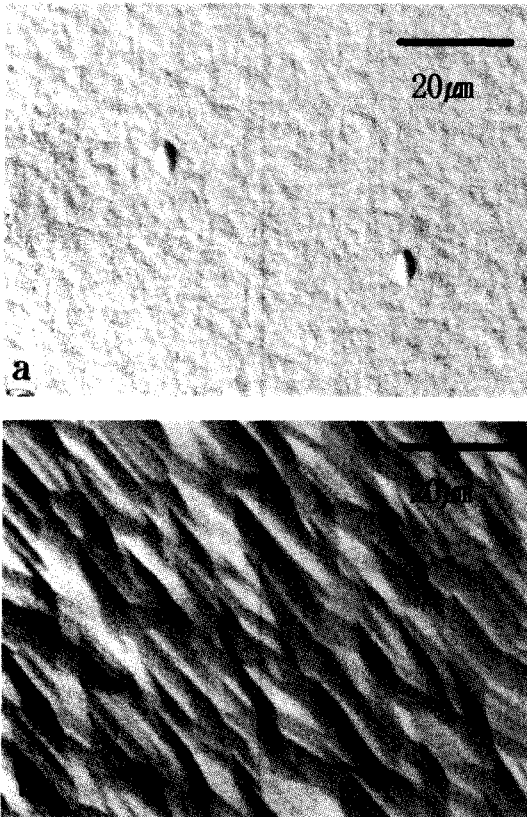


그림 1. MOVPE 법으로 성장된 HgCdTe 박막의 표면형상 a) MBE 법으로 성장된 (211)B CdTe/Si 기판위에 성장된 박막 b) (100) GaAs 기판위에 성장된 박막
 Fig. 1. Normal optical micrographs of MOVPE grown HgCdTe on (a) (211)B CdTe/Si and (b) (001)GaAs substrates.

MBE 법으로 성장된 CdTe 기판위에 성장된 HgCdTe 박막의 경우 GaAs 기판위에 성장된 것보다 훨씬 매끈한 표면형상을 보였으며 크기가 약 $5 \mu\text{m}$ 정도인 계란형(oval type)결함이 약 $500/\text{cm}^2$ 의 농도로 관찰되었다. 적외선 소자 제작 시 단위 셀의 크기가 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 정도인 것을 고려하면 이러한 계란형 결함은 크게 문제가 되지 않을 것으로 여겨진다.

CdTe의 결정은 Zinc blend 구조를 가지며 따라서 (211)면은 극성(polarity)을 가지고 있다. 먼저 Si(211) 기판위에 성장된 CdTe의 극성을 알아보기 위해서 (211)B 면에서만 에치핏(etch pit)을 형성하는 Everson-용액^[8]로 에칭하여 보았으며 에칭 된 표면형상을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 삼각형 형태의 에치핏을

관찰할 수 있으며 이를 통하여 기판이 (211)B 면임을 확인할 수 있었다. 에치핏의 모양은 이등면 삼각형 형태로 이는 극성을 갖는 (111)면에서 (211)면이 19.47도 기울어져 있기 때문으로 여겨진다.

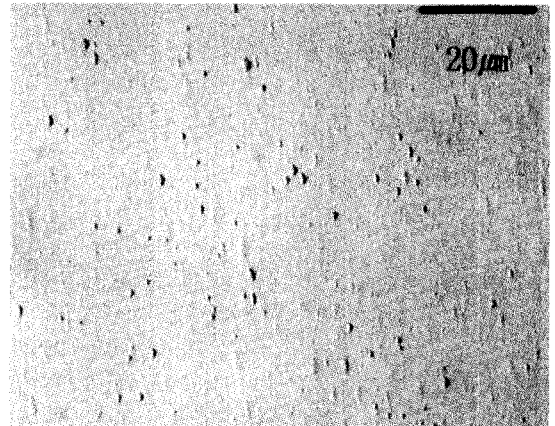


그림 2. Everson 용액^[8]으로 에칭한 CdTe (211)B/Si 기판의 에치핏 패턴.
 Fig. 2. Etch pit patterns of (211)B CdTe/Si substrates etched by Everson solution.

본 연구에서는 사용한 CdTe 기판의 EPD(etch pit density)는 $6 \times 10^5/\text{cm}^2$ 의 값을 보였다.

MBE 법으로 성장된 (211)B CdTe 기판위에 MOVPE 법으로 HgCdTe 박막을 성장시켰을 때 HgCdTe 에피 박막은 기판과 동일한 (211)면으로 성장되었으며 이는 X-선 회절 방법으로 확인하였다. 성장된 HgCdTe 박막의 에치핏은 Everson 용액으로 관찰되지 않았다. HgCdTe(211) 에피박막의 EPD를 측정하기 위하여 Lyon^[9]등이 사용한 $\text{H}_2\text{O}(80\text{cc}) : \text{HCl}(10\text{cc}) : \text{HNO}_3(20\text{cc}) : \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(8.1\text{g})$ 용액으로 에칭 하였다. 그림3의 a) b)는 MBE 법으로 성장된 CdTe(211) 기판 및 GaAs(001) 기판위에 MOVPE 법으로 성장된 HgCdTe 박막의 EPD 패턴을 각각 보여주고 있다. 그림의 두 경우에 있어서 EPD는 각각 3×10^6 , $3 \times 10^7/\text{cm}^2$ 으로 관찰되었다. MBE 법으로 성장된 CdTe 기판을 사용한 경우가 GaAs 기판위에 MOVPE 법으로 CdTe 완충층을 성장시키고 다시 HgCdTe 박막을 성장시킨 경우에 비하여 한차수 낮은 EPD를 보였다. 이 값은 CdTe/Si 기판위에 MBE 법으로 성장된 HgCdTe와는 비슷한 정도이다.^[9]

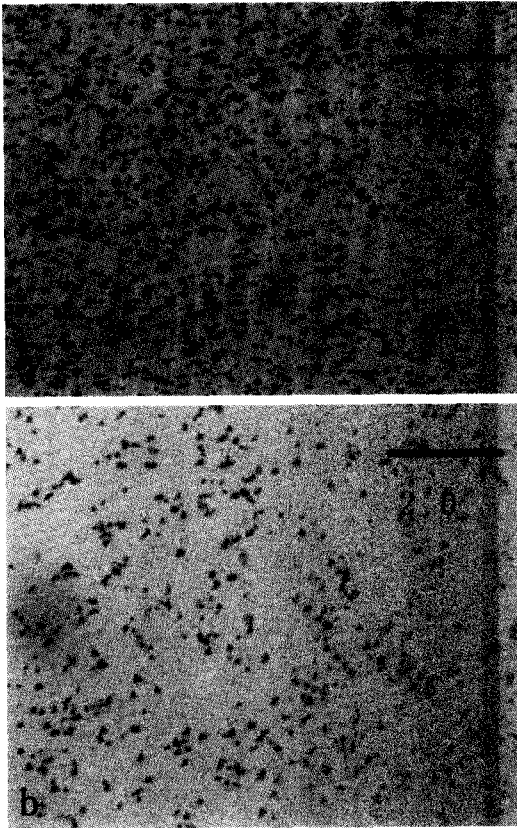


그림 3. 성장된 HgCdTe 박막의 에치핏 패턴 a) GaAs 기판위에 성장된 HgCdTe 박막 b) CdTe/Si 기판 위에 성장된 HgCdTe 박막

Fig. 3. Etch pit patterns of HgCdTe epilayers on (a)GaAs and (b) CdTe/Si substrates.

GaAs(001) 기판과 CdTe(211)B 기판 위에 성장한 HgCdTe의 결정성을 평가하기 위해 DCX (Double Crystal X-ray) 측정을 하여 비교하였다. 1차 결정으로는 GaAs(004) 면에서 회절되는 x-ray 빔을 사용하였다. GaAs(001) 및 CdTe(211)/Si 기판위에 성장된 HgCdTe 박막은 각각 기판과 동일한 (001), (211) 면으로 성장되었다. 그림 4의 (a) 와 (b) 에 각각 GaAs(001) 및 CdTe(211)/Si 면 위에 성장된 HgCdTe 박막의 DCX 측정 결과를 나타내었다. GaAs 기판위에 성장된 HgCdTe는 반치폭이 약 125 arcsec였으며, CdTe/Si 기판 위에 성장된 HgCdTe는 반치폭이 100 arcsec로 GaAs 기판 위에 성장된 HgCdTe에 비하여 우수한 결정성을 나타내었다. 이는 EPD

분석 결과와도 일치 하고 있다.

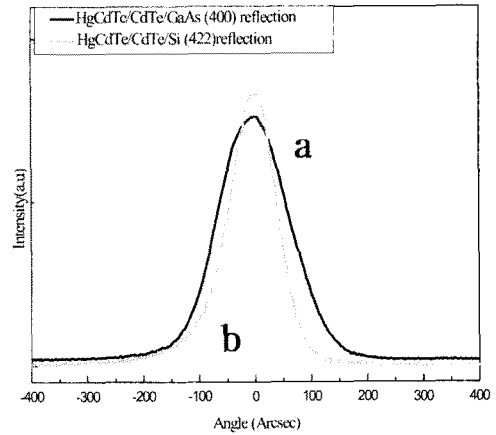


그림 4. 성장된 HgCdTe 박막의 DCX rocking curve a) GaAs 기판위에 성장된 (400) HgCdTe 박막 b) CdTe/Si 기판위에 성장된 (422) HgCdTe 박막

Fig. 4. X-ray double crystal rocking curves of (a) (004) HgCdTe on GaAs and (b) (422) HgCdTe on CdTe/Si substrates.

본 실험에서는 GaAs 기판위에 먼저 5 μm 정도 두께의 CdTe 완충층을 성장시키고 HgCdTe 에피박막을 성장하게 된다. CdTe와 HgCdTe ($x \sim 0.3$)의 격자상수는 0.4%에 지나지 않는다. 따라서 위의 두 가지 기판에서 HgCdTe의 결정성은 완충층 CdTe의 결정성에 크게 의존할 것으로 여겨진다. Si 및 GaAs와 CdTe의 격자상수차이는 각각 19%, 14%로 Si의 경우가 격자 부정합이 더 큼에도 불구하고 Si에서 성장된 HgCdTe가 EPD가 낮을 뿐 아니라 DCX 반치폭 또한 작아서 우수한 결정성을 보였다. 이는 MBE 및 MOVPE 법으로 성장된 CdTe 완충층의 결정성 차에 의한 결과라 할 수 있겠다. 두 가지 기판의 경우 모두 큰 격자 부정합으로 인하여 바로 CdTe를 성장하지 못하고 별도의 처리 과정을 거치게 된다. 즉, GaAs 기판의 경우 I-족 금속 원소를 함유하는 수용액으로 처리하여 CdTe 핵생성을 용이하게 하며^[4], Si 기판의 경우 얇은 ZnTe를 성장하고 다시 CdTe를 성장하는 방식을 택하고 있다.^[3] 따라서 CdTe의 결정성이 단지 Si 및 GaAs 기판과 격자상수의 차에만 의존하지 않게 된 것으로 여겨진다. 본 연구의 결과에서 볼 때 MBE 법으로 Si 기판위에 성장한 CdTe의 결정성이 MOVPE 법으로 GaAs 기판위에 성장한 CdTe보다 우수하였으며 그 위

에 성장되는 HgCdTe 결정성은 CdTe의 결정성을 따르는 것으로 판단된다.

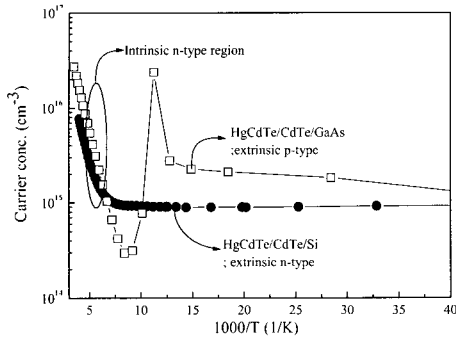


그림 5. CdTe/Si 기판 및 GaAs 기판위에 MOVPE 법으로 성장된 HgCdTe 박막의 운반자 농도의 온도 의존성

Fig. 5. Temperature dependence of the carrier concentration for HgCdTe epilayers on CdTe/Si and GaAs substrates.

그림 5는 MBE 법으로 성장된 CdTe 기판 및 GaAs 기판위에 MOVPE 법으로 성장된 HgCdTe 박막의 측정 온도에 따른 Hall 효과 측정 결과를 보여주고 있다. CdTe 기판위에 성장된 HgCdTe(x~0.3)는 측정 온도(25K~300K) 전범위에서 n-형 전도성을 보여주고 있다. 125K 이하에서는 외인성(extrinsic) 영역으로 운반자의 농도가 $8 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 을 보였으며 이 이상의 온도에서는 내인성(intrinsic) 영역으로 온도에 따라 운반자의 농도가 증가하는 양상을 보여주고 있다. 즉, HgCdTe 박막내의 잔류 불순물이 n-형 불순물임을 알 수 있다. 반면에 GaAs를 기판으로 사용한 경우 그림에서 보듯이 외인성 영역에서는 p-형 전도성을 나타내고 있다. 이는 GaAs 기판 처리과정에서 유입된 불순물 K에 의한 것으로 여겨진다.^[10] GaAs를 기판으로 사용하여 CdTe/HgCdTe 박막을 성장할 경우 박막표면에서의 hillock 생성을 억제하기 위해서 GaAs 기판을 KOH 수용액에 담그는 과정을 거치게 되며 이 과정에서 유입된 K 원자에 의해서 HgCdTe 박막이 p-형 전도성을 나타낸 것으로 판단된다.

이러한 결과는 MOVPE 법으로 GaAs 기판 위에 $10^{14}/\text{cm}^3$ 대의 낮은 운반자 농도를 갖는 n-형 HgCdTe 박막을 얻을 수 없다는 것을 말해 준다. 즉, 도핑을 통하여 n-형 운반자 농도를

갖는 HgCdTe 박막을 성장 할 수 있지만 그 농도는 K 원자의 농도에 의해서 제한된다. 적외선 센서 소자에서 적외선 흡수층에서의 운반자 농도는 p-형의 경우 mid 10^{15} ~ low $10^{16}/\text{cm}^3$, n-형의 경우 low 10^{14} ~ high $10^{14}/\text{cm}^3$ 정도가 되어야 한다. 따라서 MOVPE 법으로 GaAs를 기판으로 사용할 경우 n-형을 흡수층으로 사용할 수 없게 된다. 반면에 MBE 법으로 성장된 CdTe 기판을 사용할 경우 별도의 기판 처리가 필요하지 않음으로 기판 처리과정에서의 불순물 유입 가능성을 배제 할 수 있으며 n-형을 소자 제작시 흡수층으로 사용할 수 있게 된다.

IV. 결론

본 실험에서는 처음으로 Si 웨이퍼 위에 MBE법으로 성장된 CdTe(211) 기판 및 GaAs(100) 기판위에 MOVPE 법으로 성장된 HgCdTe 박막의 결정성 및 전기적 특성을 살펴 보았다. EPD 및 DCX 반치폭으로 본 결정성은 CdTe(211)/Si 기판위에 성장된 경우가 더 우수하였음을 확인 할 수 있었다. GaAs 기판을 사용하여 MOVPE 법으로 HgCdTe 박막을 성장 했을 경우 기판의 표면처리 과정에서 주입되는 잔류 불순물로 항상 p-형 전도성을 보이며 이로 인하여 도핑에 의한 n-형 운반자의 농도가 제한되었다. 반면 CdTe/Si 기판을 사용하였을 경우 $8 \times 10^{14}/\text{cm}^3$ 의 n-형 전도성을 보여 n-형을 흡수층으로 하는 광전합형 적외선 소자제작에 사용될 수 있음을 알 수 있었다. MBE 법으로 성장된 대면적 CdTe/Si 기판위에 MOVPE 법으로 HgCdTe 박막을 성장함으로써 결정성 및 전기적 특성이 우수한 HgCdTe 박막을 성장 할 수 있었다. 본 연구의 결과는 픽셀의 수가 1024×1024 급 이상의 대면적 고균질도의 HgCdTe 웨이퍼 제조에 널리 이용될 수 있으리라 여겨진다.

감사의 글

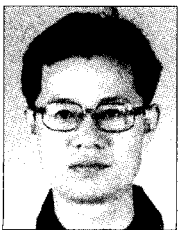
본 연구는 과학기술부 민군겸용기술사업으로 지원되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

[1] T.J. de Lyon, J.E. Jensen, M.D. Gorwitz, C.A. Cockrum, S.M. Johnson, and G.M. Vensor, "MBE

- Growth of HgCdTe on Silicon Substrates for Large-Area Infrared Focal Plane Arrays: A Review of Recent Progress," J. Electron. Mater. **28**, (1999)705.
- [2] K.D. Maranowski, J.M. Peterson, S.M. Johnson, J.B. Varesi, A.C.Childs, R.E. Bornfreund, A.A. Buell, W.A. Radford, T.J. de Lyon, and J.E. Jensen, "MBE Growth of HgCdTe on Silicon Substrates for Large Format MWIR Focal Plane Arrays," J. Electron. Mater. **30**, (2001) 619.
- [3] R. Ashokan, N.K. Dhar, B. Yang, A. Akhiyat, T.S. Lee, S. Rujifawat, S. Yousuf, and S. Sivananthan, "Variable Area MWIR Diodes on HgCdTe/Si Grown by Molecular Beam Epitaxy," J. Electron. Mater. **29**, (2000) 636.
- [4] Sang-Hee Suh, Jin-Sang Kim, Hyung Joon Kim, and Jong-Hyeong Song, "Control of hillock formation during MOVPE growth of HgCdTe by suppressing the pre-reaction of the Cd precursor with Hg," J. Crystal Growth, **236** (2002) 119.
- [5] J. E. Hails, D. J. Cole-Hamilton and J. Giess, "The origin of hillock in (Hg,Cd)Te grown by MOVPE," J. Electron. Mater., **27** (1998) 624.
- [6] J. Tunnicliffe, S.J.C. Irvine, O.D. Dosser, J.B. Mullin, "A new MOVPE technique for the growth of highly uniform CMT," J. Crystal Growth, **68** (1984) 245.
- [7] S. Rujirawat, L.A. Almeida, Y.P. Chen, S. Sivananthan, and D.J. Smith, "High quality large-area CdTe(211)B on Si(211) grown by molecular beam epitaxy," Appl. Phys. Lett. **71** (1997) 1810.
- [8] W.J. Everson, C.K. Ard, J.L. Sepich, B.E. Dean, and H.F. Schaake, "New defect etchant for CdTe and HgCdTe," J. Electron. Mater. **24** (1995) 505.
- [9] T.J. de Lyon, R.D. Rajavel, J.E. Jensen, O.W. Wu, S.M. Johnson, C.A. Cockrum and G.M. Venzor, "Polarity etchant for CdTe and HgCdTe," J. Electron. Mater. **25** (1996) 134
- [10] 김진상, 서대원, 서상희, "KOH 용액으로 처리된 GaAs 기판위에 MOVPE 법으로 성장된 HgCdTe 박막의 전기적 특성," 새 물리, Vol. **43**, No. 2, (2001) 94.

 著 者 紹 介



김진상
1986년 서울대학교 공과대학 무기재료공학과 졸업(학사)
1988년 서울대학교 대학원 무기재료공학과 졸업(석사)

1997년 서울대학교 대학원 재료공학과 졸업(박사)

1998-1999년 일본 이화학연구소 반도체공학 연구실 객원연구원
현재 : 한국과학기술 연구원 박막재료연구센터 선임연구원
관심분야: II-VI 화합물 반도체, 에피박막 성장, 적외선 센서



서 상 희

1974년 서울대학교 공과대학 금속공학과 졸업(학사)

1976년 한국과학기술원 재료공학과 졸업(석사)

1982년 Northwestern 대학 재료공학과 졸업(박사)

1984-1985년 Stanford 대학 재료공학과 객원교수

현재 : 한국과학기술연구원 책임연구원
21세기 프론티어 사업 "나노소재 기술 개발" 사업단 단장

S. Sivananthan

Professor

Microphysics Lab, Dep. of Physics, Univ. of Illinois at Chicago B.S., Physics (1980)

University of Peradeniya M.S., Physics (1985)

University of Illinois at Chicago Ph.D., Physics(1988)

University of Illinois at Chicago

Research Interests: Experimental Condensed Matter