

MBE법으로 GaAs(211)B 기판 위에 성장된 Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te 박막의 Hg/Te flux ratio에 따른 특성 연구



• 류영선 •
동국대
물리학과 박사과정



• 허유범 •
동국대
물리학과 박사과정



• 강태원 •
동국대
양자기능반도체연구센터 소장



• 한명수 •
(주)케이씨씨 종합연구소
선임연구원

1. 서론

Hg_{1-x}Cd_xTe는 bandgap에 따라 원적외선, 중적외선, 근적외선 영역을 탐지할 수 있는 장점으로 인하여 군사용뿐만 아니라 민수용으로도 각광을 받는 물질로써, 적외선 감지소자 제작에 가장 잘 알려진 물질이다. 이러한 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막의 특성 향상을 위해 많은 연구가 이루어지고 있으며, 특히 최근에는 MBE 방법에 의한 성장은 기존의 LPE 방법이나 MOCVD 성장 방법에 비하여 표면 평탄화와 결정성이 매우 좋기 때문에 감지소자 제작에 가장 중요한 성장 방법으로 연구되고 있다[1-4].

최근 적외선 감지소자 제작을 위한 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막 성장은 focal plane array(FPA)를 위해 대면적 박막의 성장이 필요하며 이를 위해 기존에 사용하는 CdTe나 CdZnTe 기판 대신에 GaAs나 Si 기판을 이용한 박막 성장이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 FPA 적외선 감지 소자의 전기적 및 광학적 성능을 저하시키는 것은 소자의 pixel 등에서 나타나는 다양한 표면 결함들로 알려져 있으며, 이러한 이유로 박막의 표면 상태를 우수하게 하는 것은 매우 중요하다. Hg_{1-x}Cd_xTe 박막의 표면에서 나타나는 결함들은 microtwin, dislocation, hillock 그리고 void 등의 결함들이 나타나며, 이는 성장 조건이나 성장 방법에 따라 여러 가지 형태로 나타나는 것으로 알려져 있다. 이러한 표면 결함들의 근원은 여러 가

지가 있으나 그 중에서 특히 Hg flux에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Hg는 흡착계수가 매우 낮아 성장 조건에 따라 표면에서 표면 결함의 핵형성에 민감하게 작용을 한다. MBE 방법에 의해 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막을 성장 시 흡착 계수가 낮은 Hg flux의 조절은 성장 시 Hg flux와 Te flux의 비율에 의하여, 이러한 Hg/Te flux 비율에 따라 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막에 나타나는 표면 결함들의 모양은 여러 가지이다. 따라서 이러한 표면 결함들의 상태 조사를 통하여 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막의 특성 향상을 이룰 수 있는 것으로 알려져 있다.

최근에는 MBE 장비에 의해 성장된 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막의 표면 결함의 조사와 분석이 많이 이루어지고 있으나 성장 조건과 표면 결함 사이의 관계나 명확한 근원을 확실하게 밝히지는 못하고 다만 좋은 특성의 적외선 감지 소자 제작을 위해서는 이러한 결함들의 밀도를 줄이는 연구들이 이루어지고 있는 실정이다.

대면적 FPA 적외선 감지소자 제작을 위해 사용하는 GaAs나 Si 기판은 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막과 매우 큰 격자부정합(GaAs : 14.6%, Si : 19%)을 이루고 있기 때문에 이로 인한 결정성 및 전기적 특성 뿐만 아니라 전위와 EPD 등 많은 표면 결함들을 발생하여 표면에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Hg_{1-x}Cd_xTe 박막과 기판 사이에 8-10 μ m 두꺼운 CdTe 완충층을 성장함으로써 그러한 결함들을 줄이는 역할을 하고 있

다[5-7].

본 연구에서는 대면적 FPA를 위해 MBE 방법으로 GaAs(211)B 기판을 사용하여 $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막을 성장하였으며 기판과 박막의 격자부정합을 줄이기 위해 기판과 박막 사이에 CdTe 완충층을 성장하였다. $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막 성장 시 Hg/Te flux 비율을 달리하여 박막의 표면에 나타나는 표면 결함을 SEM(scanning electron microscopy)과 EDX (energy dispersive x-ray diffraction)을 통하여 여러 가지 형상을 조사하였으며, 상온 FTIR (fourier transform infrared), DC RC(Double Crystal Rocking Curve) 반폭치와 77K Hall effect 측정을 통하여 Hg/Te flux 비율에 따른 적외선 투과도 특성 및 전기적 특성을 조사하였다.

2. 실험

본 실험에서는 semi-insulating GaAs(211)B 기판을 사용하였으며, 끓는 TCE, Acetone, Methanol 그리고 D.I. water에서 세척하였다. 잘 세척된 기판을 $H_2SO_4 : H_2O : H_2O = 5 : 1 : 1$ 의 비율로 섞인 용액에서 60초 동안 표면 etching 후 N_2 기체로 건조하였다. 3inch In free Uni-block 홀더에 장착시킨 시료를 loading 실에 장착하여 300에서 2시간동안 가열하여 불필요한 이물질을 제거한 다음 성장실로 이송하였다. 시료 홀더의 온도 보정을 위해 In(녹는점 : 156), Sn(녹는점 : 232) 그리고 PbAg(녹는점 : 304)를 이용하여 성장 기판 온도를 보정한 후 Te flux 분위기의 580에서 15분간 가열하여 산화막을 제거하였다. 이와 같은 기판 처리 과정을 거친 후 온도를 내린 다음 CdTe 과 Te effusion cell을 사용하여 기판 온도 280에서 CdTe 완충층을 약 $7 \sim 8 \mu m$ (성장률 : $0.8 \mu m/h$)의 두께로 성장하여 GaAs 기판과 $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막 사이의 격자부정합 줄이는 역할을 하였다.

$Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막 성장은 CdTe cell, Te cell 그리고 Hg cell을 이용하여 성장 기판온도 $197^\circ C$ 에서 성장하였다. 박막의 두께는 약 $12 \mu m$ (성장률 : $3 \mu m/h$)로 성장하였으며, Te cell flux와 Hg cell flux를 변화시켜 가면서 Hg/Te flux 비율을 조절하였다. 성장된 $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막은 상온 FTIR 측정을 통하여 투과도 측정을 하였으며, 성장 시 Hg/Te flux 비율에 따른 $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막의 표면형상을 SEM과 EDX 측정을 통하여 조사하였다.

$Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막의 표면 형상 특성과 박막의 결정성 및 전기적 특성의 관계를 알아보기 위해 DCRC와 77K Hall effect 측정을 통하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

$Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막의 표면에서는 여러 종류들의 결함들이 나타나는데, void 결함이나 hillock 결함이 대표적으로 알려져 있고 이러한 void와 hillock이 혼합된 결함들이 나타나는 것으로 알려져 있다[8]. 이들 결함들의 근원 또한 기판과 관련된 것이나 성장과 관

계된 것 또는 기판과 성장과 동시에 관련된 이유에서 나타나는 경우도 있다.

그림 1은 Hg/Te flux 비율에 따라 $12 \mu m$ 두께의 $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te/CdTe/GaAs(211)B$ 박막의 표면 상태를 나타낸 것이다. Hg/Te flux 비율은 각각 80, 85, 90, 95, 100, 120 그리고 150 으로 변화시켰으며, 관측된 박막의 상태는 그림 1의 (a), (b), (c), (d), (e) (f), 그리고 (g)로 나타내었다. 그림 1(a)는 Hg/Te flux 비율이 80일 때 $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ 박막에 나타나는 결함들을 나타낸 것으로 $30 \sim 40 \mu m$ 의 크기를 갖으며 밀도가 높게 나타나고 있다. 이러한 결함들은 void 결함으로 알려져 있으며 성장 시 Hg 부족에 의한 것이나 성장 온도가 높은 경우에 나타나는 것으로 여겨지며, 대부분은 Hg 부족에 의해 기판과 박막의 경계면 또는 박막 내의 어느 시점에서부터 시작하여 표면까지 형성된다.

그림 1(b)는 Hg/Te flux 비율이 85일 때 박막의 표면에 나타난 void 결함을 나타낸 것으로 모양이 그림 1(a)의 형태와 크기가 비슷한 것으로 보아 Hg 부족에 의한 것으로 여겨진다. 일반적으로 보고된[9,10] void의 종류에 의하면 그림 1(a)와 (b)에 보여지는 void 결함은 비슷한 형태로 Hg 부족이 심할 때 나타나는 결함형태와 잘 일치한다.

그림 1(c) Hg/Te flux 비율이 90으로 Hg flux를 증가시켰을 때 박막 표면에 나타난 void 결함의 형태로 그림 1(a), (b)에 나타난 void 결함과 다른 형태를 나타내고 있으며 이는 Hg 부족 현상 나타나고 있기는 하지만 Hg flux를 증가시켰기 때문에 또 다른 형태의 void 결함형태를 나타낸 것으로 여겨진다.

그림 1(d)는 Hg/Te flux 비율이 95일 때의 void 결함 형태로 그림 1(a),(b) 그리고 (c)와는 다른 형태를 가지며 크기 또한 $4 \sim 5 \mu m$ 내외로 매우 작아졌으며 표면 전체에 나타나는 밀도 또한 매우 감소

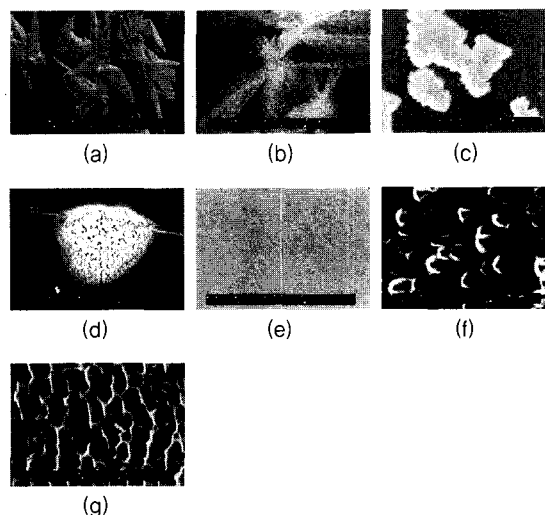


그림 1. Hg/Te flux 비율에 따른 $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te/CdTe/GaAs(211)B$ 박막의 SEM 표면 사진, [(a):80, (b):85, (c):90, (d):95, (e):100, (f):120, (g):150]

하였다. 이러한 형태의 void 결합 또한 Hg 부족에 의한 것으로 여겨지나 GaAs 기판 처리 시 나타나는 문제점이 박막까지 전달된 것으로 보고된 경우도 있다[8].

그림 1(e)는 Hg/Te flux 비율이 100인 경우로 표면에 결합들이 거의 나타나지 않는 매우 깨끗한 표면을 보여주고 있다. 이는 Hg flux를 증가시켜 줌으로써 Hg 부족을 현상을 없애주고 HgCdTe 박막 성장시 화학적 당량비가 잘 맞는 것으로 여겨진다.

그림 1(f)와 (g)는 Hg/Te flux 비율이 각각 120과 150 일 때의 표면 상태를 나타낸 것으로 Hg 과다에 의한 벌집 형태의 표면으로 얇은 void와 hillock이 혼합된 결합이라고 보고되어지고 있다[8]. 그림 1(g)에 나타나는 모래 언덕 모양의 줄무늬는 큰 격자상수 차이가 나는 GaAs 기판과 CdTe 완충층 또는 GaAs 기판과 HgCdTe 박막 사이에서 발생하는 것으로 여겨지며 CdZnTe 기판과 같이 격자상수차이가 거의 없는 경우에는 나타나지 않는 것으로 알려져 있다.

그림 2는 12 μ m 두께의 Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te/CdTe/GaAs(211)B 박막 중에서 표면 상태가 가장 좋은 Hg/Te flux 비율이 100인 그림 1(e) 박막의 상온 FTIR 투과도 측정을 한 결과이다. 투과도가 50% 이상으로 매우 우수한 특성을 보이고 있으며, cut-off 파수 영역에서도 매우 급준한 형태를 보이고 있으며 이는 composition x가 0.3에 매우 정확한 것임을 나타내고 있다. 그림에 나타내지는 않았지만 다른 Hg/Te flux 비율의 경우에는 투과도가 떨어지고 cut-off 파수 영역에서의 급준성이 완만해지는 경향이 나타나고 있다.

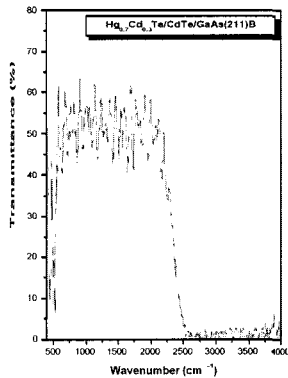


그림 2. Hg/Te flux 비율이 100 일 때 Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te/ CdTe/GaAs(211)B 박막의 상온 FTIR 측정 결과.

그림 3은 Hg/Te flux 비율에 따른 12 μ m 두께의 Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te/CdTe/GaAs(211)B 박막의 결정성 평가를 위한 DCRC 측정을 통한 반폭치를 나타낸 것이다. Hg/Te flux 비율이 증가함에 따라 반폭치가 1000 arcsec에서 감소하여 비율이 100일 때 160 arcsec 정도로 가장 좋은 값을 보이고 있으며 비율이 계속 증가함에 따라 반폭치가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 그림 1에서 나타낸 표면 상태의 결과와 잘 일치하며 Hg/Te flux 비율이 100 일 때 가장 좋은

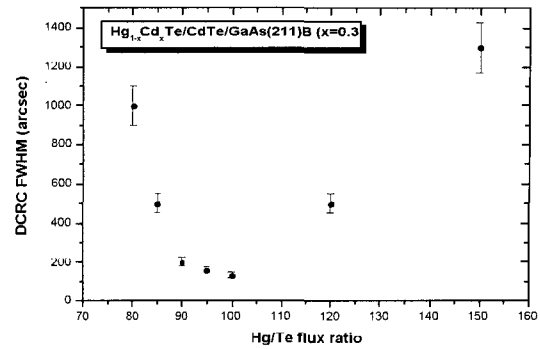


그림 3. Hg/Te flux 비율에 따른 Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te /CdTe/GaAs(211)B 박막의 DCRC 측정을 통한 반폭치 결과.

결정성을 나타내고 있다.

그림 4는 Hg/Te flux 비율에 따른 12 μ m 두께의 undoped n-type Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te/CdTe/GaAs(211)B 박막의 전기적 특성을 조사하기 위해 77K 저온 Hall effect 측정을 통하여 운반자 농도와 이동도를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 비율에 따른 운반자 농도로 비율이 증가함에 따라 운반자 농도가 $\sim 10^{17}$ cm⁻³에서 비율이 100일 때 운반자

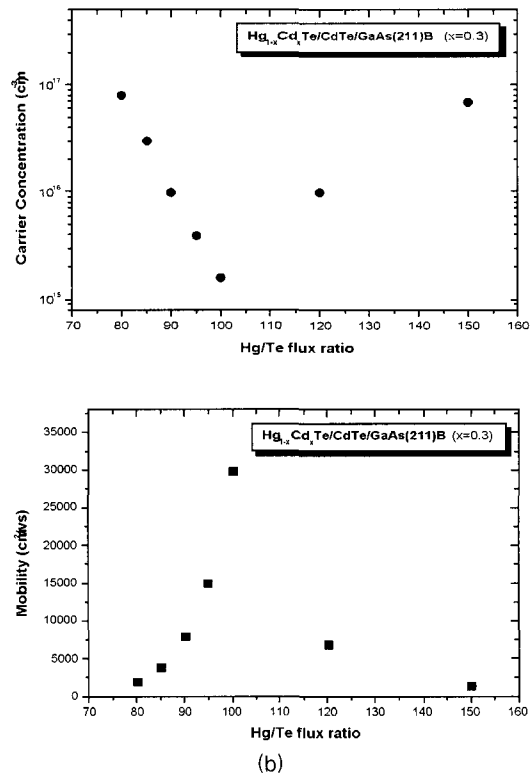


그림 4. Hg/Te flux 비율에 따른 Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te /CdTe/GaAs(211)B 박막의 77K 저온 Hall effect 측정 결과 [(a) 운반자 농도, (b) 이동도].

농도가 $\sim 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 로 가장 좋은 특성을 보이고 있으며, 이동도 또한 [그림 4(b)] 비율이 100 일 때 약 $30,000 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 로 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 그림 1과 그림 3에서 나타난 표면과 결정성의 결과와 잘 일치하는 것으로 $\text{Hg}_{0.7}\text{Cd}_{0.3}\text{Te}/\text{CdTe}/\text{GaAs}$ (211)B 박막 성장 시 Hg/Te flux 비율이 100 일 때 가장 좋은 박막 특성을 보이고 있으며 이는 박막 성장 시 가장 좋은 조건이라 할 수 있겠다.

그림 5는 그림 1에서 Hg 부족에 의해 표면에 나타난 void 결함 부분과 정상적인 표면 부분의 성분 상태를 조사하기 위해 EDX 측정을 통하여 각 부분에서 Hg, Cd 그리고 Te 성분의 양을 조사하였다. 그림에서 알 수 있듯이 정상적인 부분에 비해 void 결함 부분에서의 Hg 성분의 EDX 세기가 작은 반면에 Te 성분의 세기는 정상적인 부분에 비해 크다. Cd 성분의 세기는 두 부분 모두 거의 비슷하게 나타나고 있다. 이는 void 결함 부분의 Hg 성분의 양이 부족한 것으로 나타나고 있으며 Hg/Te 성분비를 비교하더라도 정상적인 부분에 비해 void 부분의 값이 매우 낮은 것으로 나타나고 있다. 이는 HgCdTe 박막 성장 시 Hg 부족에 의해 이러한 void 결함들이 나타남을 알 수 있다.

Hg/Te flux 비율이 120 이상인 Hg 과다 부분에서는 뚜렷하게 결함 부분과 정상적인 부분의 구분이 없어 EDX 측정으로 성분 구분을 할 수 없었고, 일정 부분을 찾아 측정하였으나 뚜렷한 성분 구분은 일어나지 않았다.

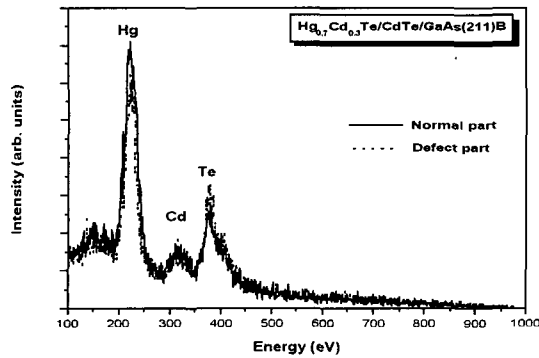


그림 5. $\text{Hg}_{0.7}\text{Cd}_{0.3}\text{Te}/\text{CdTe}/\text{GaAs}(211)\text{B}$ 박막에서 void 결함 부분과 정상적인 부분의 EDX 성분 분석 결과.

4. 결론

MBE 법에 의해 성장된 $\text{Hg}_{0.7}\text{Cd}_{0.3}\text{Te}/\text{CdTe}/\text{GaAs}(211)\text{B}$ 박막의 성장 시 Hg/Te flux 비율을 각각 80, 85, 90, 95, 100, 120, 150 으로 변화시켜 가면서 성장된 $\text{Hg}_{0.7}\text{Cd}_{0.3}\text{Te}$ 박막의 표면 상태를 SEM을 통하여 조사하였으며, Hg/Te flux 비율에 따른 표면 결함의 원인과 그것들이 박막의 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 일반적으로 Hg/Te flux 비율이 낮을 때는 Hg 부족으로 이러한 때에는 표면에

void defect들이 많이 나타나며, Hg/Te flux 비율에 따른 전기적 특성을 조사하기 위해 77K 저온 Hall effect 측정을 통하여 운반자 농도와 이동도를 조사한 결과 Hg/Te flux 비율에 따라 그 특성이 변하며 이러한 특성은 $\text{Hg}_{0.7}\text{Cd}_{0.3}\text{Te}$ 의 표면에 나타나는 defect의 양과 밀접한 관계가 있음이 조사되었으며, Hg/Te flux 비율이 100 일 때 가장 좋은 표면과 결정성 및 전기적 특성을 보이고 있다. 또한 표면 EDX 조사 결과 void 결함이 나타나는 부분이 정상적인 부분에 비하여 Hg 성분의 작고 Te 성분이 많은 것으로 보아 Hg 부족에 의한 void 형성이 나타났음을 알 수 있었다. 이러한 결과로 보아 $\text{Hg}_{0.7}\text{Cd}_{0.3}\text{Te}/\text{CdTe}/\text{GaAs}(211)\text{B}$ 박막의 성장 시 Hg/Te flux 비율 100 일 때 가장 우수한 성장 조건임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 양자기능반도체연구센터와 기초과학지원연구소 특성화장려사업 고가특수연구기기의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] M. Gallant, N. Puetz, A. Zemel, and F. R. Shepherd, Appl. Phys. Lett. Vol. 52, No. 9, p. 733, 1988.
- [2] Y. S. Ryu, J. H. Leem, and T. W. Kang, Sae Mulli, Vol. 41, No. 6, p. 399, 2000.
- [3] D. D. Edwall, M. Zandian, A. C. Chen, and J. M. Arias, J. Electron. Mater. Vol. 26, No. 6, p. 493, 1997.
- [4] P. S. Wijewamasuriya, and S. Sivananthan, App. Phys. Lett., Vol. 72, No. 14, p. 1694, 1998.
- [5] M. A. Herman, A. V. Kozhukhov, and J. T. Sadowski, J. Cryst. Growth, Vol. 174, p. 768, 1997.
- [6] H. C. Jeon, J. H. Leem, Y. S. Ryu, T. W. Kang and T. W. Kim, Applied Surface Science, Vol. 156, p. 110, 2000.
- [7] S. Rujirawat, L. A. Almeida, Y. P. Chen, and S. Sivananthan, Appl. Phys. Lett., Vol. 71, No. 13, p. 1810, 1997.
- [8] L. He, Y. Wu, L. Chen, S. L. Wang, M. F. Yu, Y. M. Qiao, J. R. Yang, Y. J. Li, R. J. Ding, and Q. Y. Zhang, J. Cryst. Growth, Vol. 227/228, p. 677, 2001.
- [9] M. Zandian, J. M. Arias, J. Bajaj, J. G. Pasko, L. O. Bubulac, and R. E. DeWames, J. Electron. Mater. Vol. 24, p. 1207, 1995.
- [10] L. H. Jhang and G. J. Summers, J. Electron. Mater., Vol. 27, p. 634, 1998.

저 자 약 력

성 명 : 류영선

❖ 학 력

- 1993년 동국대 물리학과 이학사
- 1995년 동국대 대학원 물리학과 이학석사
- 1999년 동국대 대학원 물리학과 박사과정

❖ 경 력

- 2000년 - 현재 동국대 물리학과 시간강사
- 2001년 - 현재 한국산업기술대 전자공학과 겸임교수

성 명 : 허유범

❖ 학 력

- 1995년 충북대 물리학과 이학사
- 1998년 동국대 대학원 물리학과 이학석사
- 2002년 - 현재 동국대 대학원 물리학과 박사과정

❖ 경 력

- 2002년 현재 한국산업기술대 전자공학과 시간강사

성 명 : 강태원

❖ 학 력

- 1973년 동국대 물리학과 이학사
- 1976년 동국대 대학원 물리학과 이학석사
- 1982년 동국대 대학원 물리학과 이학박사

❖ 경 력

- 1983년 - 현재 동국대 물리학과 교수
- 1999년 - 현재 동국대 양자기능반도체연구센터 소장

성 명 : 한명수

❖ 학 력

- 1990년 동국대 물리학과 이학사
- 1993년 동국대 대학원 물리학과 이학석사
- 1997년 동국대 대학원 물리학과 이학박사

❖ 경 력

- 1997년 - 현재
(주)케이이씨 종합연구소 선임연구원

