Journal of the Korean Vacuum Society
Vol. 9, No. 3, September 2000, pp. 254~257

# 타원편광분석기를 이용한 $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($0 \leq x \leq 0.43$) 박막 화합물의 유전율 함수 연구

구민상 · 이민수 · 김태중 · 김영동 · 박인규*

경희대학교 물리학과, *서울대학교 전기공학부

(2000년 3월 4일 받음)

# Dielectric functions of $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($0 \leq x \leq 0.43$) alloy films studied by ellipsometry

**M. S. Koo, M. S. Lee, T. J. Kim, Y. D. Kim, and I. K. Park***

*Department of Physics, Kyung Hee University*
**Department of Electrical Engineering, Seoul National University*

(Received March 4, 2000)

**요 약** – MBE 법으로 GaAs 기판 위에 성장시킨 $Cd_{1-x}Mg_xTe$ 박막시료를 조성비($x = 0$, 0.23, 0.43)에 따라 타원편광 분석기로 측정하여 연구하였다. 기존에 보고된 고상시료(bulk)의 결과와 비교한 결과, 첫째 $E_0$ 밴드갭 에너지 아래에서 나타나는 간섭무늬를 확인할 수 있었고, 이는 박막이 투명함을 보여주는 사실이며 그 결과 이번 시료의 우수성을 확인할 수 있었다. 둘째 $E_2$ 밴드갭 에너지 영역에서 종전의 고상시료에서 측정 발표된 값보다도 매우 높고 명확한 $\langle\varepsilon_2\rangle$ 값이 측정되어, $E_2$와 $E_0'$ 밴드갭 에너지가 명확히 분리되는 것을 보았다. 간섭무늬를 제거하기 위해 다층구조계산(multilayer calculation)을 수행하여 $x = 0.23$일 때의 $E_0$ 밴드갭 에너지를 볼 수 있었다.

**Abstract** – We report spectroscopic ellipsometric (SE) measurements on $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0$, 0.23, 0.43) films grown on GaAs substrate. When compared with previous bulk data, at first, current spectrum shows clear interference oscillations below $E_0$ band gap energy, which means the transparent characteristic of direct transition material below $E_0$ edge. It proves that the film samples used for this work have the most interrupted surface of high quality reported so far by SE. Secondly the best resolution of $E_2$ -peak is observed, so we can report clear splitting of $E_2$ and $E_0'$ band gap energies. We also performed the multilayer calculation necessary to remove this interference oscillations to observe $E_0$ band gap energy of $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0.23$) film.

## 1. 서 론

$Cd_{1-x}Mg_xTe$는 Mg의 조성비 $x$를 변화시킴에 따라 밴드갭 에너지가 변하기 때문에 광전자소자(optoelectronic devices)로 쓰일 수 있는 아주 유용한 연구 대상 물질이다. 게다가 MgTe와 CdTe 사이에 격자의 어긋남이 1.0% 보다도 더 작다고 알려져 있다 [1]. 비록 CdTe 화합물의 binary endpoint에 대한 특성은 잘 알려져 있다고 [2, 3] 할지라도 CdMgTe 화합물의 밴드갭 에너지에 대한 연구는 미비한 상태이다 [4]. 최근에 본 실험실에서는 타원편광분석기로 측정한 CdMgTe 화합물 고상시료의 유전율 함수에 대한 연구를 보고했었다 [5]. 그러나 그때의 유전율 함수에서는 고상시료의 표면이 거칠었기 때문에 $E_0$ 밴드갭 에너지 아래에서 $\langle\varepsilon_2\rangle$ 값이 0이 아니었다. 그래서 CdMgTe 화합물의 보다 더 정확한 유전함수의 결과를 얻기 위해 GaAs 기판 위에 성장된 양질의 $Cd_{0.57}Mg_{0.43}Te$ 박막을 타원편광분석기로 측정하여 $E_0$ 밴드갭 에너지 아래에서의 간섭무늬를 관측하였으며 이 영역에서 $\langle\varepsilon_2\rangle$ 값이 0임을 확인하였다 [6]. 본 연구에서는 $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0$, 0.23, 0.43) 박막 화합물의 유사 유전율 함수(Pseudodielectric spectra)를 보고하며 다층구조계산(multilayer calculation) [7]을 사

용하여 간섭무늬를 제거하는 작업을 보고한다.

## 2. 실 험

Mg의 조성비가($x = 0.0, 0.23, 0.43$)인 3개의 epitaxial layer를 [001] 방향으로 GaAs 기판위에 MBE 법으로 성장시켰다. 박막의 두께는 약 3 μm이고 표면의 cap layer는 없다. 시료의 두께는 시료생장시 RHEED의 oscillation에 의해 측정되었으며, Mg 조성비는 X-ray 회절실험을 통하여 격자상수를 측정하였고 Vegard 법칙 [8]에 의해 구하였다.

유사 유전율 함수(Pseudodielectric spectra) $\langle\varepsilon(\omega)\rangle = \langle\varepsilon_1(\omega)\rangle + i\langle\varepsilon_2(\omega)\rangle$는 상온에서 1.5 eV에서 6.0 eV까지 rotating analyzer ellipsometer로 측정되었다 [9, 10]. 실험시 75 W Xenon arc lamp에서 나오는 빛을 사용했고 monochromator를 통해 나온 빛을 quartz Rochon prisms을 통해 직선 편광 시켰으며, 시료에서 반사되어 나온 빛을 PMT 검출기로 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

시료는 windowless cell에 놓고 표면의 오염을 최소화 하기 위해 $N_2$를 지속적으로 흘려주었으며, He-Ne 레이저로 광학적 align을 했다. 타원편광분석 실험은 시료의 표면에 아주 민감하기 때문에 시료에 대한 정밀한 정보를 얻기 위해선 표면에 쌓여있는 overlayer 의 효과를 고려해주어야 한다 [11]. 표면 산화막의 유전율 함수 $\langle\varepsilon\rangle$는 아직 보고되어 있지 않으므로, 화학 에칭법을 사용해 산화막을 제거했다. 여기서 $NH_4OH$를 사용해 ZnTe의 산화막을 성공적으로 제거했던 Refs. [12, 13]의 방법을 따라 wet 화학 에칭법을 수행했다. 화학 에칭법은 실시간으로 유전율 함수에 변화가 없을 때까지 반복해서 실행됐다. 그림 1은 Refs. [6]에서 따온 것 인데 CdTe 박막의 $\langle\varepsilon_2\rangle$ 값이 화학 에칭에 의해 변해가는 결과를 보여주고 있다. $NaBH_4$를 사용하여 $\langle\varepsilon_2\rangle$ 의 최대값인 11.92를 얻었는데, 이 결과는 CdTe 고상시료에서 얻은 최대값 12.12 [5]와 비슷하다. 다른 화합물 시료도 같은 방법으로 측정하였다.

지난번에 보고되었던 고상시료의 결과와 비교해 보기 위해 유전율 함수를 에너지에 대해 두 번 미분 하였다. 그림 2에서 이렇게 미분해서 얻은 결과를 점(open circle)으로 표시했다($d^2\langle\varepsilon_2\rangle/dE^2$의 데이터는 그림이 복잡해지므로 표시하지 않았다.). $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0.43$) 박막일 때의 결과를 고상시료 측정에서 얻은 결과와 비교하면, 고상시료에서는 볼 수 없었던 $E_2$와 $E_0'$ 밴드갭 에너지가 분리됨을 명확히 볼 수 있다. 이는 본 실험에서 사용된 박막시료의 우수성을 보여주며 또한 화학 에칭에 의해 $E_2$ 밴드갭 부분의 스펙트럼이 향상되었음을 증명하는 것이다. 실선은 Critical Point Parabolic Band(CPPB) 모델 [14-16]을 이용하여 밴드갭 에너지를 더 정확히 얻기 위해 fitting 한 결과인데 그 결과는 다른 곳에서 상세히 보고하게 될 것이다 [17].

조성비에 따라서 화학 에칭을 하여 얻은 최상의 유전

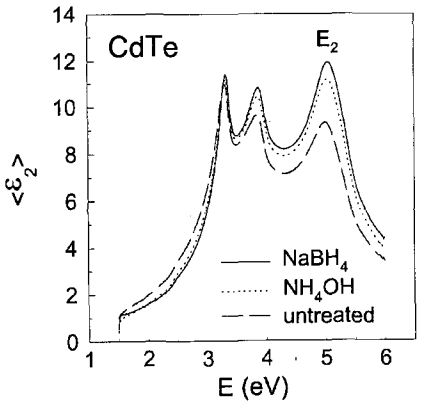


**그림 1.** 시료 표면의 천연 산화막 등 overlayer 를 제거하기 위한 화학 에칭의 결과에 따른 $\varepsilon_2$ 스펙트럼.

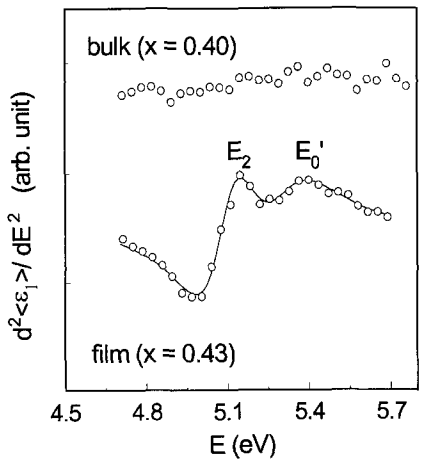


**그림 2.** $E_2$, $E_0'$ 영역에서 CdMgTe의 유전율 함수를 미분한 결과를 점(open circle)으로 나타낸 그림. 위에 그린 것이 Refs. [5]의 고상시료의 data이고, 아래 그린 것이 본 실험에서 사용된 박막의 data이다. 실선은 CPPB 모델을 이용하여 fitting 한 결과이다.

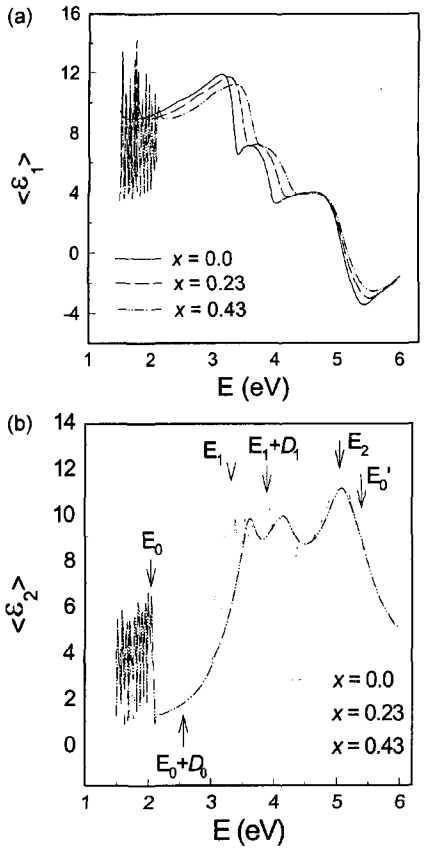


**그림 3.** (a) 상온에서 측정한 $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0, 0.23, 0.43$) 유사 유전율 함수의 실수부분. (b). 상온에서 측정한 $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0, 0.23, 0.43$) 유사 유전율 함수의 허수부분.

율 함수 스펙트럼이 그림 3(a), (b)이다. 이 그림에서 Mg의 조성비가 커짐에 따라 밴드갭 에너지도 커짐을 분명히 볼 수 있다. 이 그림에서 직접간격(direct gap) 반도체 물질의 $E_0$ 밴드갭 에너지 아래에서의 간섭무늬를 분명히 볼 수 있었는데, 이것은 Refs. [5]에서 보고했던 이 영역에서의 $\langle\varepsilon_2\rangle$ 값이 0이 아니었던 것이 물리적으로 옳지 못한 결과였음을 검증했고 [6], 다른 시료에서도 역시 확인할 수 있었다. 그러나 간섭무늬 현상 때문에 정확한 $E_0$ 밴드갭 에너지를 얻을 수 없었다. 이 간섭무늬는 $E_0$ 밴드갭 에너지 보다 낮은 에너지를 가진 빛이 시료에 들어오면 박막이 투명하여 기판의 정보까지 보게 되어 생기는 현상으로, 이 간섭무늬를 제거해야지만 정확한 $E_0$ 밴드갭 에너지를 얻을 수 있다. 간섭무늬를 제거하기 위해서 다층구조계산(multilayer calculation) [7]을 하였는데, 이 방법은 기판인 GaAs의 유전율 함수를 알고, 박막의 두께를 알고 있으므로, 다층구조계산(multilayer calculation) 계산을 하여 얻은 유전율 함수 $\varepsilon$와 실험에서 측정된 유사 유전율 함수 $\langle\varepsilon\rangle$을 fitting 하여 얻어내는 것이다. 그 결과 그림 4에서 처럼 간섭무늬가 제거되어 $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0.23$) 박막의 $E_0$ 밴드갭 에너지가 관찰될 수 있었다. 다른 시료에 대해서도 동일한 방법을 수행 중이며, 그 결과는 다른 논문에서 상세히 다루게 될 것이다[17].

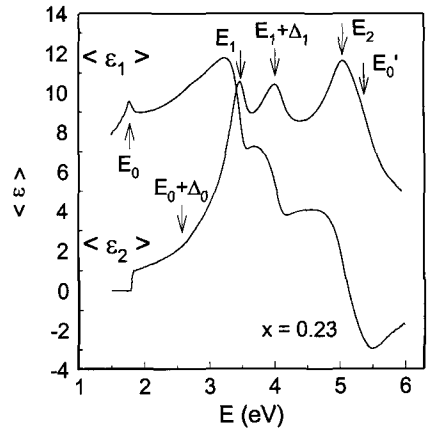


**그림 4.** $Cd_{1-x}Mg_xTe$ ($x = 0.23$)의 간섭무늬를 제거한 결과.

## 4. 결 론

$Cd_{1-x}Mg_xTe$ 박막을 조성비($x = 0, 0.23, 0.43$)에 따라 상온에서 1.5 eV에서 6.0 eV로 측정했다. 적당한 화학에칭을 하여 $Cd_{1-x}Mg_xTe$ 박막의 고유한 유전함수를 알아냈고, $E_0$ 밴드갭 에너지 아래에서의 간섭무늬 현상이 관찰되어 $E_0$ 밴드갭 에너지 아래에서의 $\langle\varepsilon_2\rangle$ 값이 0임을 확인하였다. 또한 고상시료와 비교해서 $E_2$와 $E_0'$ 밴드갭 에너지가 분리됨을 명확히 볼 수 있었다. 그리고 간섭무늬를 제거하여 Mg의 조성비가 $x = 0.23$일 때의 $E_0$ 밴드갭 에너지를 관찰할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(98-0200-05-01-3) 지원으로 수행되었으며, 시료를 제공해주신 Kossut 교수님과 측정을 허락하신 Aspnes 교수님께 감사드립니다.

## 참고문헌


[1] A. Waag, H. Heinke, S. Scholl, C. R. Becker, and G. Landwehr, J. Cryst. Growth **131**, 607 (1993).

[2] H. Arwin, and D. E. Aspnes, J. Vac. Sci. Technol. A **2**, 1316 (1984).

[3] L. Vina, C. Umbach, M. Cardona, and L. Vodopyanov, Phys. Rev. B **29**, 6752 (1984).

[4] M. Luttmann, F. Bertin, and A. Chabil, J. Appl. Phys. **78**, 3387 (1995).

[5] S. G. Choi, Y. D. Kim, S. D. Yoo, D. E. Aspnes, I. Miotkowski, and A. K. Ramdas, Appl. Phys. Lett. **71**, 249 (1997).

[6] T. J. Kim, Y. D. Kim, S. D. Yoo, D. E . Aspnes, J. Kossut, J. Korean Phys. Soc. **34**, 496 (1999).

[7] R. M. A. Azzam and N. M. Bashara, Ellipsometry and Polarized Light (North- Holland, Amsterdam, 1977).

[8] Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, Landolt-Bornstein Vol. III/22a, edited by K.-H. Hellewege (Springer, Berlin, 1982).

[9] D. E. Aspnes, Opt. Commun. **8**, 222 (1973).

[10] D. E. Aspnes and A. A. Studna, Appl. Opt. **14**, 220 (1975).

[11] D. E. Aspnes and A. A. Studna, Phys. Rev. B **27**, 985 (1983).

[12] Y. D. Kim, S. G. Choi, M. V. Klein, S. D. Yoo, D. E. Aspnes, S. H. Xin, and J. K. Furdyna, Appl. Phys. Lett. **70**, 610 (1997).

[13] S.G. Choi, Y. D. Kim, M. V. Klein, S.D. Yoo, D. E. Aspnes, S. H. Xin, and J. K. Furdyna, J. Korean Phys. Soc. **31**, 202 (1997)

[14] Y. D. Kim, S. L. Cooper, M. V. Klein, and B. T. Jonker, Appl. Phys. Lett. **62**, 2387 (1993).

[15] M. Cardona, in *Modulation Spectroscopy*, Suppl. vol. 11 of *Solid State Physics*, edited by F. Seitz, D. Turnbull, and H. Ehrenreich (Academic, New York, 1969)

[16] D. E. Aspnes, in *Handbook on Semiconductors*, edited by M. Balkanski (North-Holland, Amsterdam, 1980), Vol. 2 p. 109.

[17] T. J. Kim, M. S. Koo, M. S. Lee, Y. D. Kim, and I. K. Park, unpublished.