

Hot-Wall Epitaxy에 의한 MnSb 박막의 성장과 자기적 특성

윤만영

중부대학교 이공대학 정보통신학과

Growth and Magnetic Characteristics of MnSb Epilayer by Hot-Wall Epitaxy

Man-Young Yoon

Department of Information and Communications, Joong-bu University

Abstract

MnSb layers were grown on GaAs(100), (111)A and (111)B substrates by hot wall epitaxy under various growth conditions. Growth condition dependence of structural properties of the layers was examined. The growth direction and structural properties of MnSb/GaAs(100) depend on Sb source and substrate temperatures. The smooth MnSb(10.1)/GaAs(100) interface was obtained under the appropriate growth condition. On the other hand, MnSb(00.1) layers were grown on GaAs(111) substrates. The quality of the layers on (111)B was superior to that on GaAs(111)A, but degraded as in increasing Sb source temperature during the growth. The Mn_2Sb domain was generated in the layers grown under conditions of low Sb source temperature and high substrate temperature on GaAs(111) substrates.

1. 서 론

21세기 정보통신산업기기의 급속한 발달에 따라 기술적 진보방향은 고성능화 소형화 추세로, 자기재료를 이용한 정보의 기록 및 재생도 고기록밀도 및 고속화된 기록매체의 개발이다. 자기기록의 고밀도화 고속도화를 위하여서는 빛에 의한 기록 및 재생방법이 가장 유

효한 방법 중 하나이다.

이 분야에 대한 연구는 일찍이 1950년대 후반부터 시작되어 당시의 연구결과로서 광자기 기록이 고밀도 기록에 대한 가능성을 충분히 보여 주었으나 실생활에 응용이 될 수 있을 만한 성과는 없었다. 그 이유로서는 크게 두가지 원인으로 분석 될 수 있으며, 첫째는 광자기 기록 재생 장치에 대한 기술 부족, 둘째는 적당한 광자기 기록재료를 발견치 못하였다는 점이다. 그 후에 레이저의 발견 및 콤팩트 디스크의 실생활에의 응용 등 주변 기술의 발달에 힘입어 전자의 문제점은 거의 해결이 되었으며, 또한 1973년 Chaudhari 등 IBM 연구 그룹에 의해 비정질 희토류-천이금속 재료가 개발됨에 따라 후자의 문제점도 해결될 기미가 보여졌고, 드디어 1980년 일본의 Imamura 등 KDD 연구 그룹에 의하여 처음으로 고신뢰 광자기 기록 재생 실험을 성공하게 되었다.¹⁾⁻⁵⁾ 이와 같은 전철을 밟아 1988년부터 일본의 Cannon사 등 수 개의 업체들이 광자기 Disk 및 기록 재생 system을 시판하기 시작하였다.

광자기 기록 재생 기술이 일상 생활에 응용될 수 있는 단계에 까지 이르렀다고는 하지만 아직도 개발의 여지가 많이 남아 있다. 그중의 하나로서 현재 광자기 디스크의 재료로 사용하고 있는 Tb-Fe 비정질 합금막은 광자기 효과가 너무 작아 재생시 에러가 일어나기 쉽다는 점이다. 광자기 효과의 크기는 재료에 따라 다르고, 같은 재료라 할지라도 빛의 파장에 따라서도 달라진다. 1985년 Nd-Co 비정질 막의 자기-광 효과가 300nm 부근 단파장에서 큼이 보고 되었으나, 이는 포화자화가 너무 큰 것이 단점이다.

따라서, 최근에는 서로 다른 물질 즉 자기물질과 반도체로 합성한 heteroepitaxy 박막은 hetero 구조를 가지면서 자기광학적 특성이 나타난다. 특히 MnSb/GaAs은 hybrid 구조를 갖으면서 MnSb 에피박막을 이용하여 자기메모리 및 스위치 등을 개발할 수 있는것으로 보고되어 있다. 따라서 MnSb 에피박막에 대해 상당한 관심을 일으켜 왔으나 아직까지 MnSb 에피박막의 성장메카니즘과 구조적 성질을 상세히 조사되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서 Hot Wall Epitaxy법으로 MnSb를 다양한 GaAs기판에 성장하여 구조적 성질과 자기적 성질 조사하고자 한다.

2. 실 험

Fig. 1은 본 연구의 MnSb 에피층을 성장하기 위하여 자체 제작된 열벽성장장치 중 성장로의 단면을 나타낸것이다. Fig.1 과 같이 성장로는 기판부, 열벽부, 원료부 그리고 도펀트부로 구성되어 있다. 이들 4부분의 온도는 성장시 각각 독립적으로 온도조절이 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 MnSb 에피층을 성장하기 위하여 사용된 기판은 GaAs(100), GaAs(111)A, GaAs(111)B 기판이었다. 에피층 시료 제작의 원료물질로서는 Mn과 Sb 금속을 사용하였다.

성장시에 Mn는 원료부에 놓았고, Sb는 도펀트부에 각각 놓았다. 본 연구에서 사용한 기판은 트리클로로에틸렌 용액에서 세정하여 보관하였고, 성장할때에 아세톤, 메탄올 순으로 초음파 세척한 후 $H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O = 3 : 1$ 용액에서 1분간 화학에칭을 하였다. 그리고 기판을 성장 챔버에 넣은 후 기판 표면에 남아 있을 수 있는 산화막과 자연흡착물을 제거하기 위하여 챔버내에서 기판을 열에칭하였다. 열에칭은 $590^{\circ}C$ 에서 20분간 실시하였다. MnSb 에피층을 성장하기 위하여 Mn은 $760^{\circ}C$ 로 고정하였고, Sb는 $325\sim 540^{\circ}C$, 기판의 온도는 $390^{\circ}C\sim 540^{\circ}C$ 이었으며, 에피층의 성장률과 두께는 0.7 \AA/s 와 500nm 이었다. 또한 성장시 진공도는 대개 8×10^{-7} torr 이었다. 성장된 MnSb 에피층의 구조적 특성은 엑스선 회절분석 장치(x-ray diffractometer, XRD)을 이용하여 조사하였고, 자기적 성질은 vibrating-sample magnetometry(VSM)을 이용하여 조사하였다.

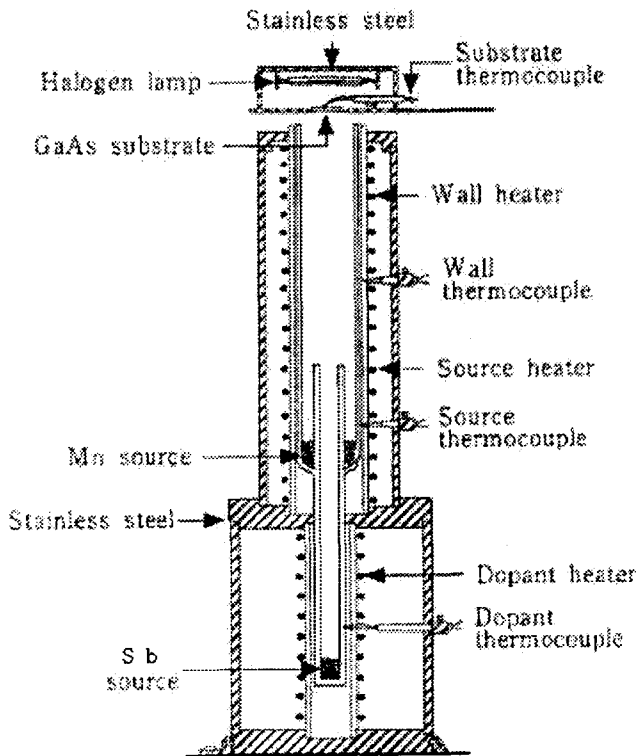


Fig. 1. Schematic diagram of the hot-wall system.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 GaAs(100)기판에 성장한 에피층의 구조적 성질을 보인 것이다. Fig. 2는 다양한 Sb 온도하에서 성장한 에피층들로부터 MnSb(10.1)피크에 대한 X-ray rocking curve를 나타낸 것이다. 높은 Sb 온도에서 성장한 층에서 두회절 (10.1)피크가 나타났다. 그리고 Sb 온도가 감소함에 따라 이러한 두 피크가 없어지고 다른 피크가 두 피크사이에서 나타났다. Fig. 3은 다양한 기판온도에서 성장한 에피층들에 대한 MnSb(10.1)의 x-ray rocking curve 들이다. 경사진 영역들에서 두 회절피크는 나타났다. 높은 온도에서, 많은 Sb excess 성장조건에서 성장한 층에 나타난 것으로, As원자들이 기판으로부터 쉽게 침착된 것으로 사료되며, Sb원자들로 대체되고, 그것은 경사진 영역들에서 결정핵화가 되기 때문이다.

다음은 GaAs(111)A, (111)B에서 성장한 에피층들의 구조적 성질은 나타내었다. Fig. 4와 fig. 5는 각각 기판온도가 450, 570℃에서 성장한 GaAs(111)A위에 있는 에피층들의 x-ray 회절패턴을 나타낸것이다. MnSb(00.1)층에서 성장하였고, RHEED(reflection high-energy electron-diffraction) 측정에서 MnSb 에피층은 많은 Sb-excess 성장조건하에서 GaAs(111)A 기판위에 성장 에피택설하게 성장하였고, 에피택설 관계는 (00.1), [12.0]MnSb//[111], [011]GaAs. Mn₂Sb는 성장온도가 fig.5에 보인것과 같이 높아질때 (111)A기판에 생성하였다. Mn₂Sb는 Sb 플럭스가 감소하므로서 GaAs(111)B기판에 성장하였다. 반대로 기판온도가 350℃ 이하에서는 excess Sb가 침착되었다. 성장표면에서 Sb원자들의 결핍되면서 성장동안에 Mn₂Sb가 생성된다. GaAs(100)기판에서 Mn₂Sb에 대한 어떠한 징후도 발견할 수 없었다.

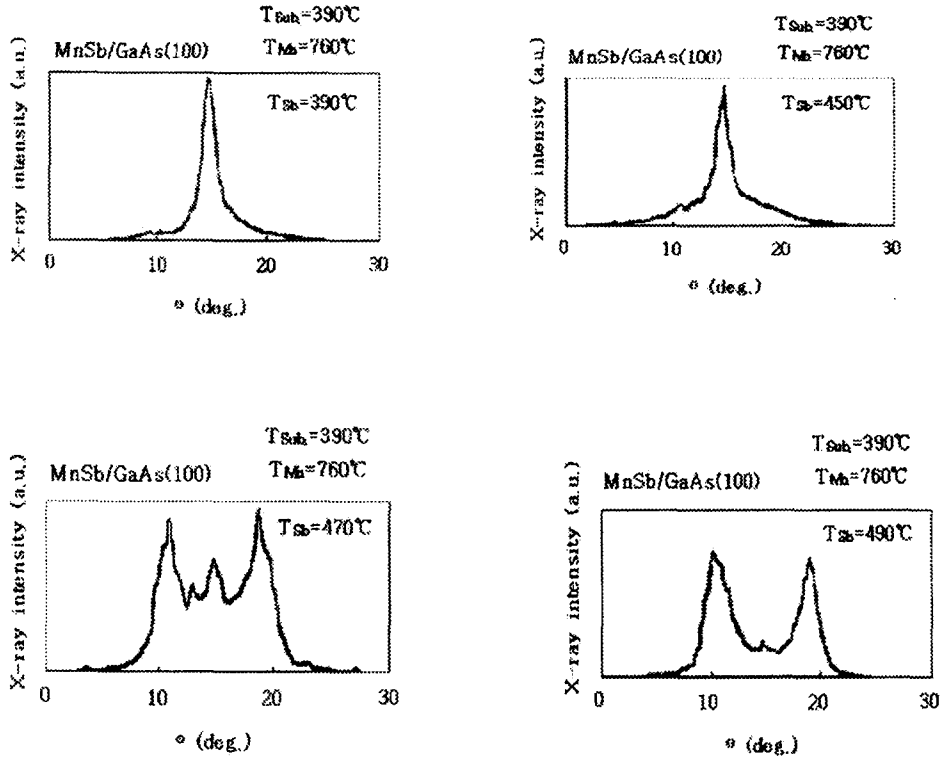


Fig. 2. Sb source dependence of X-ray rocking curves for MnSb/GaAs(100).

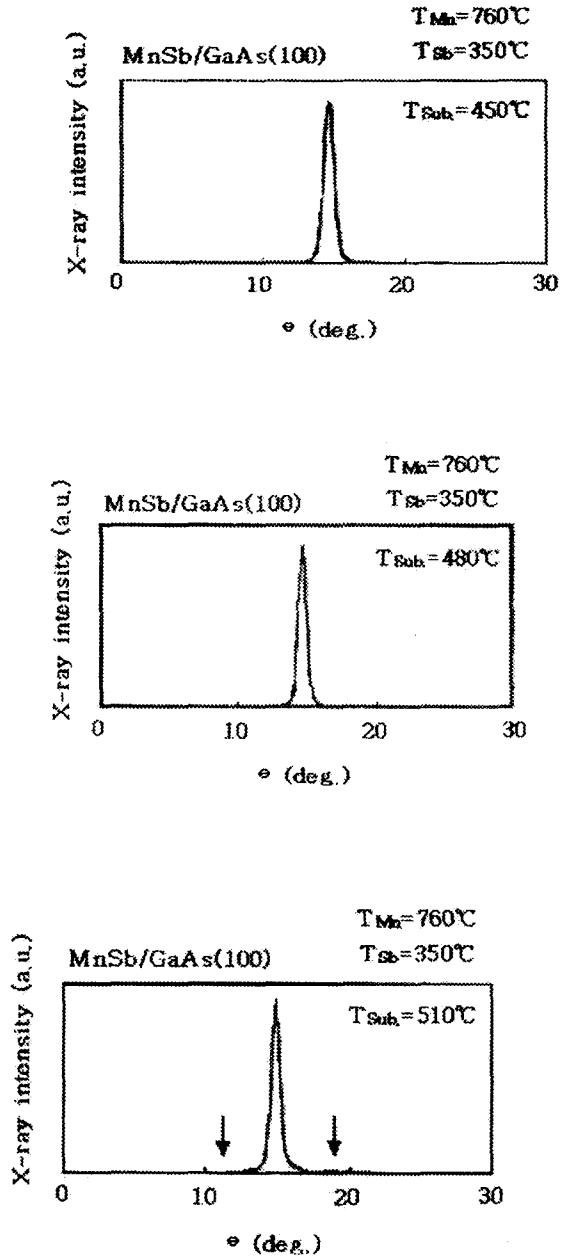


Fig. 3. Substrate temperature dependence of X-ray rocking curves for MnSb/GaAs(100).

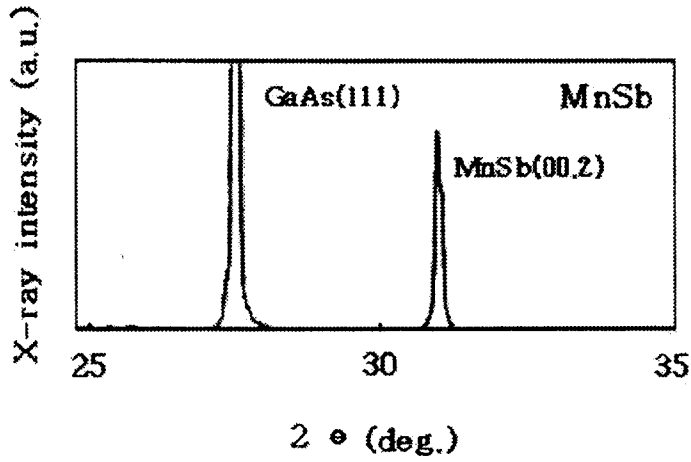


Fig. 4. X-ray diffraction patterns for MnSb/GaAs(111) grown under $T_{\text{sub}}=450^{\circ}\text{C}$.

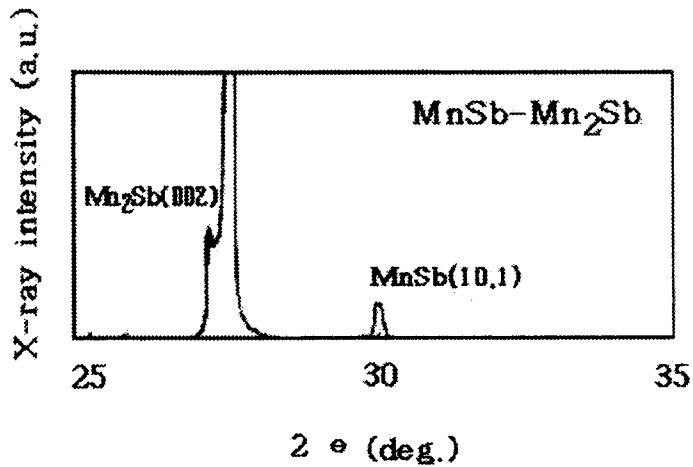


Fig. 5. X-ray diffraction patterns for MnSb/GaAs(111) grown under $T_{\text{sub}}=540^{\circ}\text{C}$.

MnSb c-면(plane)이 원자의 한 종류로 차지하면서, Sb 원자들은 MnSb(10.1) 표면보다 오히려 MnSb(00.1)표면으로 다시 쉽게 재 침착된 것으로 사료된다. 따라서 기판방향인 GaAs(111) 이지만 MnSb-Mn₂Sb 혼합된 층들에서 MnSb(10.1)의 성장방향으로 성장될 것으로 사료된다. 이것은 CdTe(111)/Si(100) 시스템과 같은 3-4 fold 대칭면사이에서 이중접합이 이루어진 것으로 사료된다. 또한 Mn₂Sb(001)에 네 hold 대칭적 원자배열은 MnSb(10.1) 영역들에서 결정핵화가 되기 때문인 것으로 사료된다. 또한 앞으로 Mn₂Sb 와 MnSb 사이의 경계와 Mn₂Sb와 GaAs기판사이에서 계면의 구조적 성질, Mn₂Sb 의 에피택셜 형태를 결정해야 할 것으로 사료된다.

Fig. 6과 fig. 7은 GaAs(111)A, GaAs(111)B 기판위에 성장에 층에 대해 MnSb(00.2)의 X-선 회절피크의 FWHM을 나타낸 것이다. 각각 FWHM의 Sb 원료부와 기판온도의 의존성을 나타내었다. GaAs(111)B위의 층들의 결정질이 낮은 Sb 원료부 온도에서 성장한 층인 (111)A 보다 더 좋은 것으로 사료된다. 그러나 Sb 플럭스가 증가할 때 GaAs(111)B위의 층들의 결정질이 GaAs(111)A위의 결정질과 비교할 때 나빠졌다. 이것은 기판표면에 excess-Sb가 선택적으로 GaAs(111)B면을 에칭하기 때문이다. 또한 그것은 에피층의 결정질을 좋지 않게 하는 것으로 사료된다. MnSb 는 NiAs형 결정구조를 가지고, 원자들의 한 종류에 의해 간단하게 c-평면이 된다. GaAs(111)B기판에서, 표면위의 As원자들은 단지 Mn에 결합되어 있다. 침착된 MnSb의 첫 번째 원자층은 단지 Mn원자들로 구성되고, 기판 표면위의 Ga원자들은 Mn과 Sb 원자들에 결합된다. 침착된 MnSb의 첫 번째 원자층은 Mn과 Sb 원자들로 이루어지고, MnSb(00.1)층들의 결정질을 나쁘게 한다. 에피층에 Sb의 표면범위는 기판온도와 Sb/Mn 플럭스비율에 의존하다. Sb의 표면범위가 증가할 경우, GaAs(111)B에서 에피층의 결정질이 GaAs(111)A와 비교할 때 나빠지고, 그것은 (111)B 기판표면위에서 에칭과정의 원인이 되기 때문이것으로 사료된다. 다른 한편으로 높은 기판온도 범위에서 에피층의 결정질 나빠지는 것은 Mn₂Sb 영역의 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 8은 GaAs(111)A 기판위에 성장한 MnSb의 자화를 나타낸 것이다. 에피층의 넓이는 0.24cm²이고 두께는 230nm였다. 잔류자화(M_r)의 값은 150emu/cm³이고, 항자력(H_c)는 Fig.7에서 보인 것처럼 179 Oe였다. 자장방향에 따른 M_r 과 H_c 값을 table 1에 나타내었다.

MnSb c-축의 기울기가 성장방향으로 증가할때, 에피층들은 in-평면 이방성 자기적성질을 나타낸다. 이와같은 현상은 easy-자화방향이 MnSb의 c-평면에 평행하다는 것을 설명될 수 있다. 따라서 에피층의 자기적 성질은 성장방향에 의해 조절될 수 있을 것으로 사료된다.

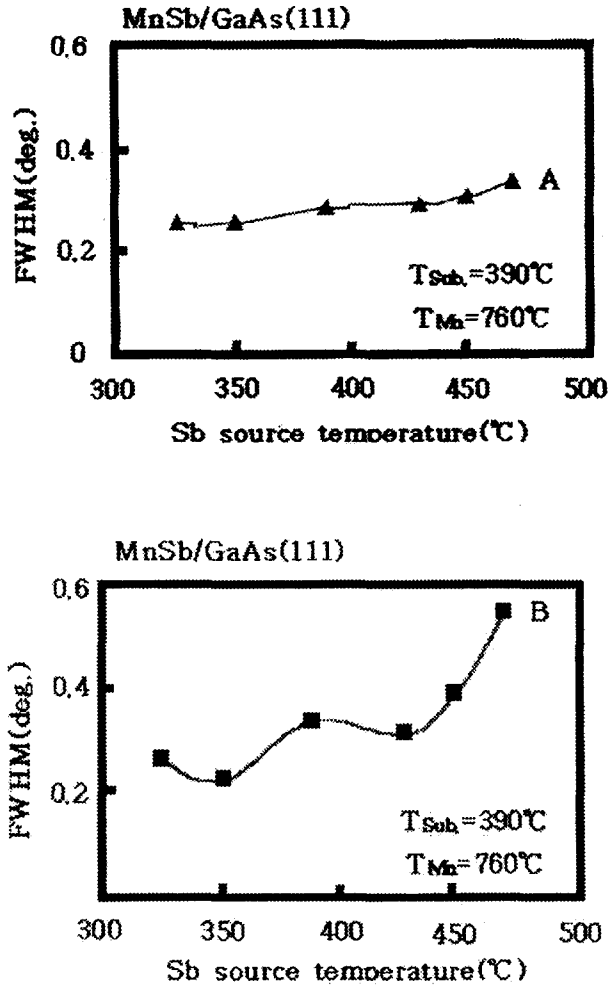


Fig. 6. FWHM of x-ray diffraction MnSb(00.2) peaks. Sb temperature dependence, where $T_{\text{Mn}}=760^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{sub}}=390^{\circ}\text{C}$.

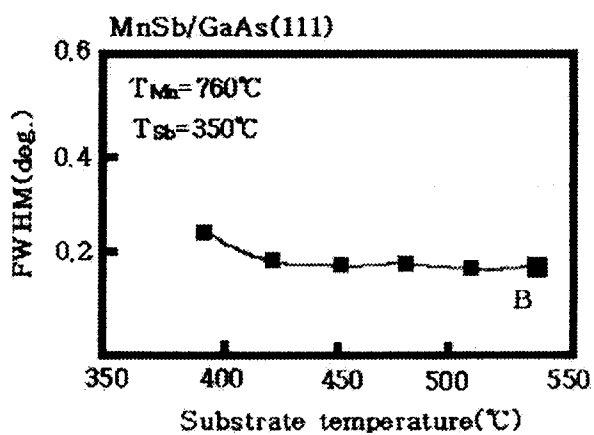
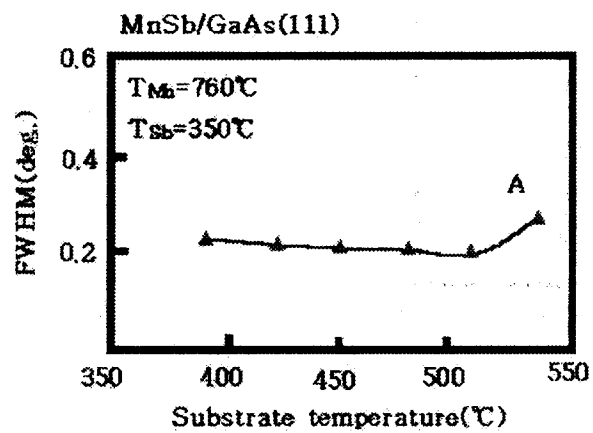


Fig. 7. FWHM of x-ray diffraction MnSb(00.2) peaks. Sb temperature dependence, where $T_{Mn}=760^{\circ}C$, $T_{Sb}=350^{\circ}C$.

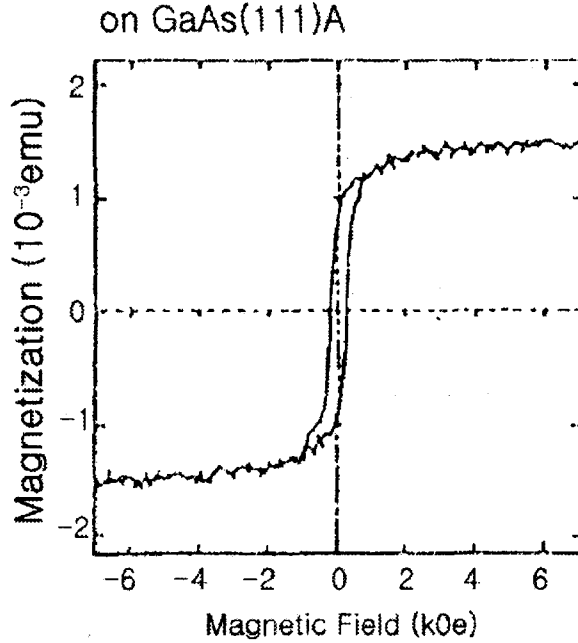


Fig. 8. Magnetization of the MnSb layer on GaAs(111)A, as a function of a magnetic field parallel to the MnSb(12.0) direction.

Table 1. Remnant magnetization(M_r) and coercive field(H_c) for various magnetic field directions

substrate	direction of magnetic field	remnant magnetization $M_r(10^{-4}\text{emu})$	coercive field $H_c(\text{Oe})$
GaAs(111)A	(001)	8.5	160
	(211)	8.5	160
	(111)	0.4	260

4. 결 론

MnSb 에피층은 GaAs(100), (111)A, (111)B에서 성장하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) MnSb(10.1)에피층은 GaAs(100)기판위에서 성장하였다. 에피택셜 성장은 성장동안 Sb/Mn 비율과 기판온도에 의존한다.
- 2) MnSb(00.1)/GaAs(111)B의 결정질은 MnSb(00.1)/GaAs(111)A보다 더 좋았고, MnSb(00.1)/GaAs(111)B는 Sb 원료부온도가 증가할때에는 빠르게 나빠졌다.
- 3) Mn₂Sb는 낮은 Sb원료부 온도와 높은 기판온도조건에 성장하였고, MnSb의 성장방향에 영향을 받았다.
- 4) MnSb c-축의 기울기가 성장방향으로 증가할때, 에피층들은 in-평면 이방성 자기적성질을 나타낸다. MnSb/GaAs는 앞으로 자기 디지털 메모리의 응용디바이스로 좋은 재료일 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2001학년도 중부대학교 학술연구개발비 지원에 의하여 연구되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) P.Chaudhan, J. J. Cuomo and R. J. Gambino, J. Appl. lett., **23**, 337 (1973).
- 2) N. Imamura and C. Ohta, J. Appl. Phys., **19**, L737 (1980).
- 3) Y. J. Choe, S. Tsunashima, T. Katayama and S. Uchiyama, J. Mag. Soc. Japan., **11**, Suppl., 272 (1987).
- 4) M. Mansuripur, Fenglei Zhou and J. kevin Erwin, Appl. Opt., **29**,1308 (1990).
- 5) P. Singh, Mater. Lett7, 293 (1988).
- 6) T. Okita and Y.Makino, J. Phys. Soc. Jpn. **25**, 120 (1986).
- 7) V. Seshu Bai and K. V. S. Rama Rao, J. Appl. Phys. **55**, 2167 (1984).
- 8) M. Suzuki, M. Shirai and K. Mochizuki, J. Phys. : Condens. Matter **4**, L33 (1992).