

광검출기 응용을 위하여 스퍼터된 미세결정 SiGe 박막성장 연구

김도영^{1,a}, 김선조², 김형준², 한상윤³, 송준호³

¹ 울산과학기술대학교 전기전자학부

² 연세대학교 전기전자공학부

³ 삼성디스플레이(주) LCD 연구소

The Study of Sputtered SiGe Thin Film Growth for Photo-detector Application

Doyoung Kim¹, Sunjo Kim², Hyungjun Kim², Sang Youn Han³, and Junho Song³

¹ School of Electricity and Electronics, Ulsan College, Ulsan 680-749, Korea

² School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

³ Samsung Display LCD R&D Center, Yongin 446-711, Korea

(Received April 20, 2012; Revised May 3, 2012; Accepted May 10, 2012)

Abstract: For the application of photo-detector as active layer, we have studied how to deposit SiGe thin film using an independent Si target and Ge target, respectively. Both targets were synthesized by purity of 99.999%. Plasma generators were generated by radio frequency (rf, 13.56 MHz) and direct current (dc) power. When Ge and Si targets were sputtered by dc and rf power, respectively, we could observe the growth of highly crystalline Ge thin film at the temperature of 400°C from the result of raman spectroscopy and X-ray diffraction method. However, SiGe thin film did not deposit above method. Inversely, we changed target position like that Ge and Si targets were sputtered by rf and dc power, respectively. Although Ge crystalline growth without Si target sputtering deteriorated considerably, the growth of SiGe thin film was observed with increase of Si dc power. SiGe thin film was evaluated as microcrystalline phase which included (111) and (220) plane by X-ray diffraction method.

Keywords: Microcrystalline SiGe, Sputtering, Raman spectroscopy, IR detector, Touch screen

1. 서론

최근 입력소자로 활용되는 터치스크린은 키보드나 마우스와 같은 입력장치를 사용하지 않고, 스크린에 손가락, 펜 등을 접촉하여 입력하는 방식이다. 이러한 터치스크린 패널은 터치패널의 구현방식에 따라 저항막 방식 [1], 정전용량 방식 [2], SAW (surface acoustic wave) 방식 [3], IR (infrared) 방식 [4] 등으

로 구분되며 현재 대부분의 디스플레이에서는 저항막 방식과 정전용량 방식이 주로 사용된다. 다양한 터치스크린 구동방식 중에서 최근에 관심을 받고 있는 IR 방식을 이용한 터치스크린 방식은 외부광원이나 디스플레이에 표시되는 화상에 의해서 발생하는 의도되지 않은 동작을 극복할 수 있는 방식 중의 하나이다 [5]. 이러한 IR 방식의 터치패널은 IR 이미지 센서를 백라이트 후면에 설치하고 손가락이 표면에 접촉되는 반사되는 광을 인식하도록 되어 있어 대형 디스플레이 패널에 적용이 용이하다 [6]. 후면에 사용되는 IR 이

a. Corresponding author; dykim@uc.ac.kr

미지 센서로 사용된 비정질 실리콘 (a-Si)이나 저온 다결정 Si를 이용한 경우 소형/중형 디스플레이에 성공적으로 적용이 되어왔다 [7]. 그러나 Si의 경우 높은 광자효율을 가지고 있고 낮은 잡음도를 가지고 있지만 1.3~1.55 μm 의 파장을 가지는 광에 대하여 Si의 경우 1.1 μm 에서 광흡수가 cut-off되므로 사용하기 어렵다. 이를 극복하는 방법은 InGaAsP와 같은 화합물 반도체가 있으나 제작비용이 고가인 단점을 가지고 있다. R. L. Jiang *et. al.*의 보고에 따르면 밴드갭이 협소한 Ge를 Si과 결합시켜 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x=0.6$)을 성장시키면 1.3 μm 까지 cut-off 파장을 증가시킬 수 있다고 보고 [8]하고 있어 IR 센서로써의 가능성이 높다고 할 수 있다.

공정상 thermal budget을 줄이기 위하여 저온에서 성장된 SiGe은 결정립계 결함으로부터 기인되는 비정질 SiGe (a-SiGe)의 전기적 특성저하를 극복하기 위해 플라즈마 화학기상증착법 (PECVD) [9] 방법이나 고상결정화공정 [10]을 통하여 미세결정질 ($\mu\text{c-SiGe}$) 상태로 성장된다. 그러나 PECVD를 위하여 사용하는 SiH_4 와 GeH_4 같은 독성 가스는 공정에 있어서 안정성과 고가의 설비 유지비 측면에서 약점 [11]이 있으므로 본 연구에서는 스퍼터링 방법을 이용하여 미세결정질 SiGe을 저온에서 성장이 가능한 공정을 확립하였다. 또한 박막의 결정성과 전기적 특성을 평가함으로써 향후 터치스크린용 IR 센서 소자 개발의 기초 데이터를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 실험 방법

본 논문에서 미세결정질 SiGe 박막을 성장시키기 위하여 그림 1과 같이 두 가지 방법으로 박막을 성장시켰다. 사용된 Si target 2인치, 99.999% (i-Nexus)를 사용하였으며 Ge target은 2인치 99.999%를 사용하였다. 각각의 Si과 Ge target은 (a) set 1에서 rf power를 Si target에 dc power를 Ge target에 인가하였다. 반대로 (b) set 2에서는 dc power를 Si target에 rf power를 Si target에 인가하였다. rf power는 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하였다. 기판으로 사용된 25 mm \times 25 mm 크기의 Eagle XG (Corning 제조)를 사용하였으며 기판 표면의 오염 제거를 위하여 아세톤, 메탄올, 탈 이온수 (DI water)를 사용하여 넣은 초음파 세척기에서 10분 간 세척하였다. 세척 후에 시료 표면에 남아있는 세척액은 N_2 기체로 건조

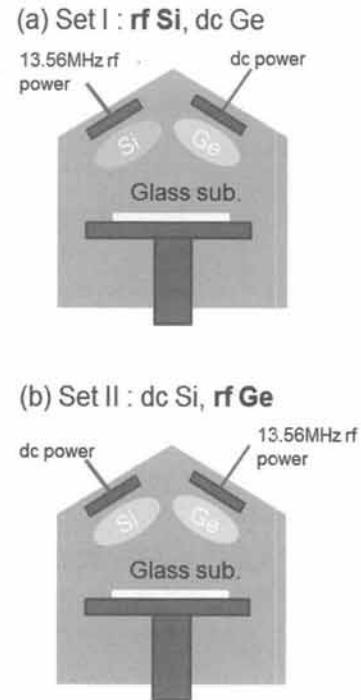


Fig. 1. Schematic diagram of dual target sputtering system (a) rf power on Si target and dc power on Ge target, (b) dc power on Si target and dc power on Ge target.

시켰다. 세척된 기판은 챔버 내로 loading한 후 각 조건에 따른 기판온도로 고정시킨 후 저온진공펌프와 고진공펌프를 이용하여 챔버 내부의 공기를 배기시켰다. 초기 압력을 2.5×10^{-5} Torr까지 배기한 후에 MFC (mass flow controller)로 고순도의 Ar 가스와 수소 가스를 20 sccm, 5 sccm을 각각 주입하였다. Throttle 밸브를 조절하여 압력을 5.0×10^{-3} Torr로 유지시킨 후 dc power를 이용하여 플라즈마를 형성하고 주파수 13.56 MHz의 rf power로 플라즈마를 형성하고, 10분 간 선 스퍼터링 (pre-sputtering)하여 target 표면의 오염을 제거하였다. 그림 1의 (a) set 1 조건에서 Si target이 장착되어 있는 rf power는 100 W, Ge target이 장착되어 있는 dc power는 50 W로 고정하였다. 그림 1의 Set 2(b) 조건에서 Ge target이 장착되어 있는 rf power는 150 W로 고정한 후 Si target이 장착되어 있는 dc power를 0 W, 25 W, 50 W, 75 W로 변경하면서 스퍼터링을 진행하였다.

각각의 조건으로 증착된 SiGe 박막의 구조적, 전기적 특성 변화를 관찰하였다. 우선 박막내 물질간 결합

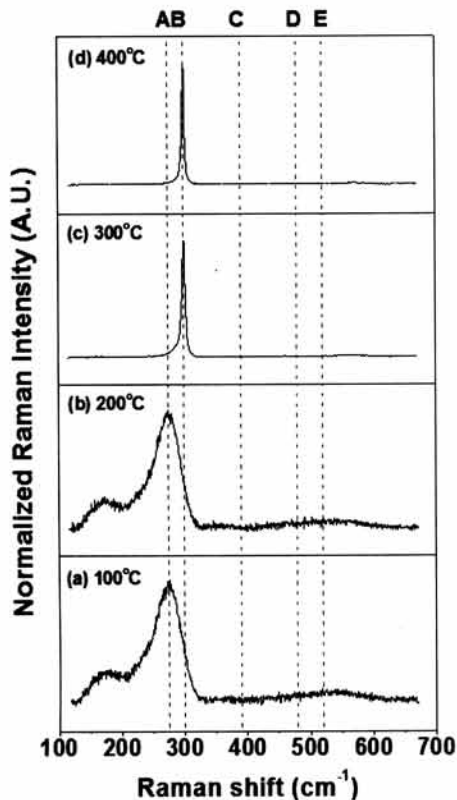


Fig. 2. Raman spectra of thin film deposited by set I as a function of substrate temperature. A, B, C, D, E indicates Ge-Ge, single crystalline Ge, Si-Ge, Si-Si, and single crystalline Si, respectively.

상태를 확인하여 위하여 514 nm 파장의 Ar 이온 레이저를 이용한 Raman spectroscopy (Jobin-Yvon)를 이용하였다. 또한 결정면의 방향성을 분석하기 위하여 X선 회절 분석기(XRD, D8 Discover)를 이용하여 증착된 박막의 결정성을 확인하였으며 박막의 두께와 비저항은 각각 alpha step 500 surface profiler (KLA-Tencor Co., USA)와 4 point probe를 이용하여 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 set I의 조건으로 기판온도에 따른 SiGe 박막의 raman 분광곡선을 나타내었다. 이 경우 스퍼터링을 위하여 사용된 수소가스는 박막의 높은 증착 속도를 유지하기 위하여 사용되지 않았다. 기판온도가 200°C 이하에서는 비정질 Ge-Ge 결합을 대표 [12]

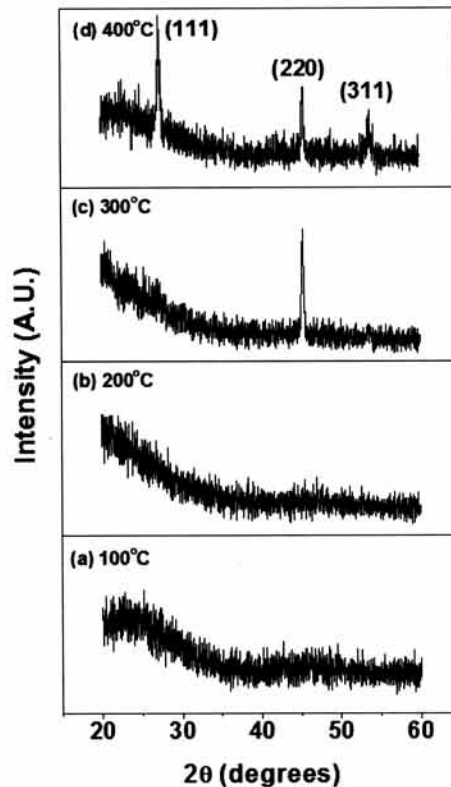


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of thin film deposited by set I condition as a function of substrate temperature.

하는 raman shift 275 cm⁻¹(A)가 지배적으로 나타나며 300°C 이상에서는 300 cm⁻¹(B)에서 나타나는 결정성 Ge-Ge 진동인 raman shift가 급격히 나타난다. 이는 스퍼터된 Ge 원자가 300°C 이상의 기판온도에서 결정성장함을 보여주는 것이다. 그러나 Si 결합과 관련된 raman shift인 C(390 cm⁻¹), D(480 cm⁻¹), E(520 cm⁻¹)에서의 peak은 관찰되지 않았다. 이는 rf power에 의해서 스퍼터되는 Si 원자의 yield가 dc power로부터 스퍼터되는 Ge 원자의 yield 보다 매우 작아서 발생한 결과라고 사료된다.

그림 3에서 set I의 실험조건에서 기판온도에 따른 X-ray 회절형상을 보였다. 기판온도가 200°C 이하에서는 결정면이 관찰되지 않다가 온도가 300°C로 증가함에 따라서 (220)면이 성장하다가 400°C에서는 (111)면이 (220)면에 비하여 주도적으로 성장하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 결정성 성장을 위한 활성화에너지가 (220)면이 (111)면에 비하여 작기 때문에 낮은 온도에서 우선 성장하는 것으로 사료된다 [13]. 그러나 결정성장된 박막은 단지 Ge 박막의 결정면을 나타내

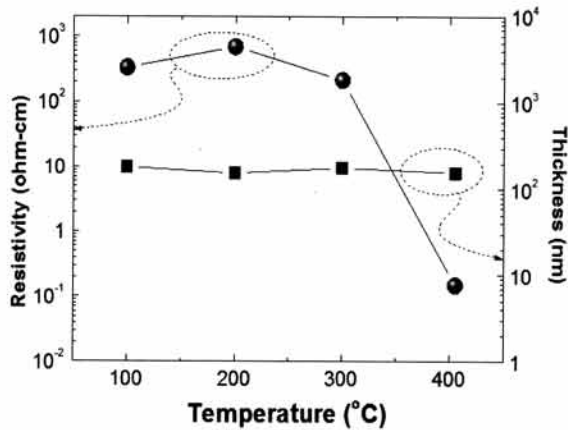


Fig. 4. Electrical resistivity and thickness of thin film deposited by set I condition as a function of substrate temperature.

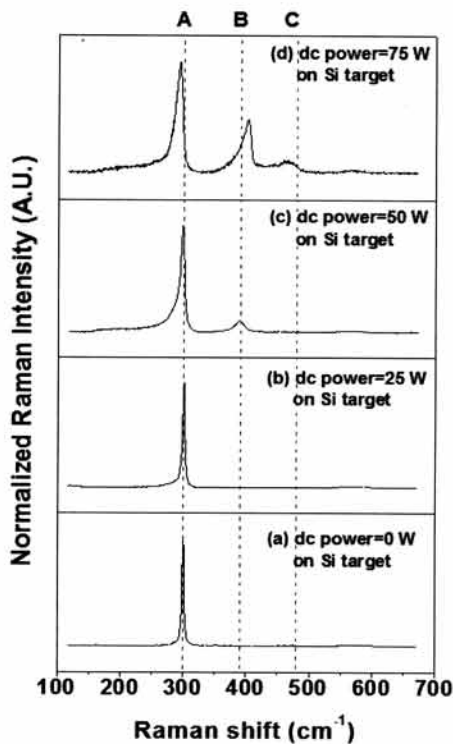


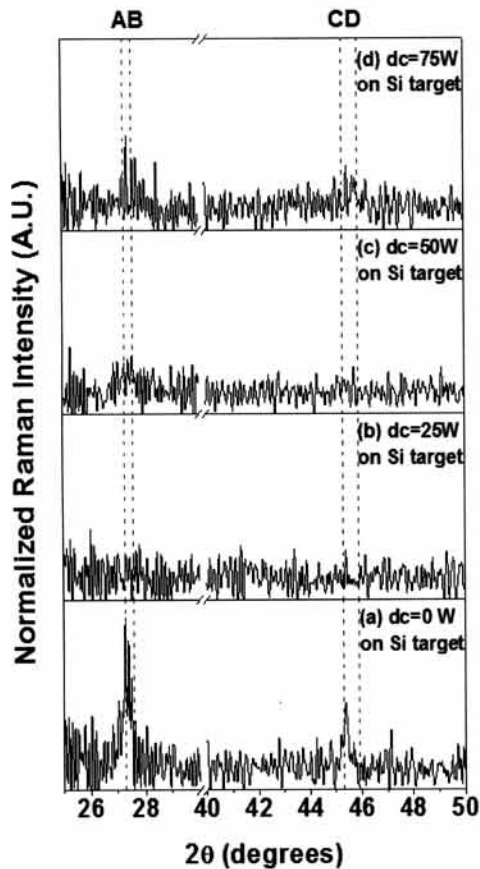
Fig. 5. Raman spectra of thin film deposited by set II as a function of dc power. A, B, and C, indicate single crystalline Ge, Si-Ge, and Si-Si respectively.

는 것으로 이는 Si-Ge 결합이 관찰되지 않았던 그림 2의 raman 결과와 일치하는 것이다.

그림 4는 기판온도에 따른 전기저항 특성과 두께에

대한 측정결과이다. 준비된 시료는 모두 150 nm 정도 두께를 동일하게 고정하였으며 4-point probe를 이용하여 비저항을 측정하였다. 기판온도가 저온에서는 비저항이 100 ohm-cm 이상의 높은 값을 보였으나 400°C에서 비저항이 0.1 ohm-cm로 급격히 떨어짐을 관찰할 수 있었다. 이는 Ge 박막이 금속성 반도체 (metallic semiconductor)의 특성을 나타내었으며 이는 이전의 raman과 X-ray 회절상 결과와 일치하는 것으로 다결정성 Ge의 고유한 특징을 나타내는 전기적 특성으로 사료된다.

그림 5는 Ge 박막의 결정성이 크고 낮은 비저항 값을 보였던 기판 온도인 400°C로 기판 온도를 고정하고 Si이 함유된 SiGe의 박막 성장을 위하여 set II의 조건인 rf power에는 Ge target을 위치시키고 dc power에는 Si target을 위치시켰다. dc power는 0 W에서부터 75 W까지 증가시키면서 raman 분광곡선의 변화를 관찰하였다. dc power가 0 W일 경우 역시 결정질 Ge 박막에서 나타나는 raman shift 300 cm^{-1} 에서 높은 peak이 관찰되었으며 25 W까지도 동일한 결과가 관찰되었다. 그러나 50 W부터 결정질 Si-Ge 결합으로 알려져 있는 390 cm^{-1} 에서부터 작은 peak이 나타나기 시작하여 75 W에서는 일반적으로 Ge 농도가 높은 상태의 Si-Ge라고 예상할 수 있는 raman 분광 곡선이 관찰되었다. Ge 박막에 결합되어 있는 Si의 함유량은 그림 5의 A위치로부터 shift되어 있는 정도로 계산할 [14] 수 있는데 dc power가 50 W 이하에서 Si의 농도는 15% 이하였으며 75 W에서는 급격하게 증가하여 55%의 Si와 농도를 얻을 수 있었다. 이러한 raman 분광특성이 set I의 결과와 set II의 결과가 확연히 구별되는 이유는 Si target과 Ge target이 dc와 rf power에 의해서 서로 다르게 스퍼터링될 때 Ge target의 저항이 Si target에 비하여 작고 dc power가 저항이 낮은 Ge target에 인가되는 경우 스퍼터되는 원자의 yield가 매우 크므로 set I의 조건에서는 Ge의 박막이 주로 성장하고 set II 조건에서는 Ge target이 rf power에 연결되어 있고 Si target이 dc power에 연결되어 있으므로 Ge의 yield가 줄어들어 Si-Ge의 결정박막이 생성된 것으로 사료된다. 또한 그림 5(d)의 A와 B의 위치를 보면 약간의 shift가 발생하였음을 관찰할 수 있는데 이것은 Ge base에서 Si의 양이 증가하면서 발생하는 원자 간 stress로부터 기인된다고 사료된다. 또한 그림 5(d)의 C근방에서 분광 shoulder가 발생하는 것으로 보아 비정질상의 Si-Si 결합 또한 나타나고 있음이 관찰되었다.



	A	B	C	D
Angle(°)	27.3	27.6	45.3	45.9
Phase/plane	Ge (111)	SiGe (111)	Ge (220)	SiGe (220)

Fig. 6. X-ray diffraction pattern of thin film deposited by set II as a function of dc power. A, B, C, and D point refer under table.

그림 6에서 set II의 실험조건으로 Si target 스퍼터링을 위하여 dc power에 따른 X-ray 회절형상과 회절 각에 따른 박막의 결정성장면을 삽입된 표로 나타내었다. dc power가 0 W에서는 (111)면 (그림 6의 A)과 (220)면 (그림 6의 B)을 가지는 미세결정 혹은 비정질상의 Ge 박막이 형성되었음을 관찰할 수 있었다. 그러나 dc power가 증가함에 따라 결정성장을 나타내는 peak은 사라지고 비정질상의 박막으로 성장됨을 알 수 있었다. 그러나 dc power가 50 W에서는 SiGe의 (111)과 (220)면을 대표되는 미세한 peak 위치 변화가 관찰되는 것으로 보아 결함이 매우 높은 미세결정질 SiGe 박막이 형성되었음을 알 수 있으며

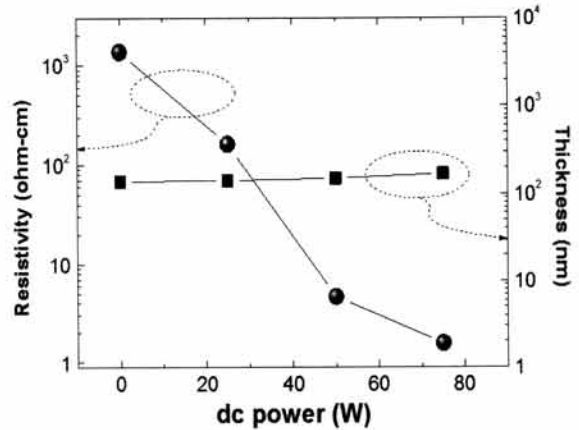


Fig. 7. Electrical resistivity and thickness of thin film deposited by set II as a function of dc power.

이는 그림 5에서 보였던 raman의 결과와도 일치하는 것이다. 이는 rf power를 Ge target으로 연결하고 dc power를 Si target으로 연결하는 set II의 실험에서의 박막 결정성장은 set I에서 Ge 박막이 다결정상으로 성장하는 것과는 달리 SiGe 미세결정상으로 성장하는 것으로써 dc power에 의해서 스퍼터되는 Si 원자가 rf power에 의해서 스퍼터되는 Si 원자보다 yield가 더 우수함을 알 수 있었으며 반면에 결정성층면에서는 dc 스퍼터된 Si과 결합하는 Ge의 경우 불리한 것으로 사료된다.

그림 7은 dc power에 따른 전기저항 특성과 두께에 대한 측정결과이다. 준비된 시료의 두께는 증착속도를 고려하여 모두 150 nm 정도도 두께를 동일하게 고정하였으며 4-point probe를 이용하여 비저항을 측정하였다. Set I의 실험과는 달리 Si이 함유되지 않은 dc power 0 W의 조건에서 Ge 박막은 가장 높은 비저항을 보이는데 이는 set II 조건에서 Ge을 rf power로 스퍼터하면서 얻어진 낮은 결정성으로부터 기인된 것으로 사료된다. 그러나 dc power가 증가함에 따라서 Si이 스퍼터되는 양이 증가함에 따라서 SiGe 박막이 형성되고 비저항은 감소하는 것으로 관찰되었다. 이와 같은 결과는 그림 6의 X-ray 회절 결과와 비교하여 보면 set II 조건에서 rf power만 사용하여 Ge target을 스퍼터링하는 경우 Ge 박막의 결정성은 set I 조건에 비하여 매우 좋지 못한 결과를 그림 6(a)에서 얻었으며 이는 Ge 박막이 set II 조건에서 미세결정 혹은 비정질상의 결정상을 가지고 있음을 나타낸다. 이때의 비결정성은 비저항의 증가를 야

기하며 이후 스퍼터된 Si 원자의 양이 증가함에 따라서 그림 6(d)에서 peak의 위치가 미세하게 변경되면서 Si-Ge 박막이 형성되었으며 Ge과 결합된 Si 원자는 비결정성의 Ge 박막의 결합을 감소시켜 비저항을 감소시키는 원인이 된 것으로 사료된다. 또한 이것은 SiGe의 조성에 따라서 전기저항의 조절가능성을 시사하는 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 Si과 Ge target을 서로 다른 rf-dc 스퍼터링 방법을 이용하여 SiGe 박막을 증착하고자 하였다. Si target을 rf로 사용하고 Ge target을 dc power를 사용한 set I 조건에서는 결정성이 우수한 Ge 박막을 기판온도 400°C에서 성장시킬 수 있었으나 raman 분광 특성 결과에 따르면 어떤 조건에서도 SiGe 박막은 얻을 수 없었다. 이에 SiGe 박막을 스퍼터링 방법으로 성장시키기 위해서 set II의 실험방법으로 Si target을 스퍼터링 하기 위하여 dc power를 사용하고 Ge target을 스퍼터링 하기 위하여 rf power를 사용하였다. 이러한 set II의 조건에서 dc power를 증가시킴에 따라서 SiGe 박막이 성장하였으며 dc power가 75 W에서 미세결정질을 가지며 Si의 함유량이 55% 정도인 SiGe 박막이 형성됨을 raman과 X-ray 회절 곡선으로부터 알 수 있었으며 전기적 비저항도 Si의 스퍼터링되는 양이 증가함에 따라서 낮아짐을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2011년 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

REFERENCES

- [1] W. C. Wang, T. Y. Chang, K. C. Su, C. F. Hsu, and C. C. Lai, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 41, 541 (2010).
- [2] S. Takahashi, B. J. Lee, J. H. Koh, S. Saito, B. H. You, N. D. Kim, and S. S. Kim, *SID Symposium Digest of Technical Papers* 40, 563 (2009).
- [3] J. D. Schermerhorn, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 39, 1298 (2008).
- [4] W. den Boer, A. Abileah, P. Green, T. Larsson, S. Robinson, and T. Nguyen, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 34, 1494 (2003).
- [5] S. Y. Han, D. C. Kim, B. Cho, K. S. Jeon, S. M. Seo, M. S. Seo, S. W. Jung, K. Jeong, W. K. Kim, S. H. Yang, N. H. Kim, J. Song, H. S. Kong, and H. G. Kim, *J. Soc. Inf. Display*, 19, 855 (2011).
- [6] K. Yi, C. Choi, S. Suh, B. Yoo, J. J. Han, D. Park, and C. Kim, *J. Soc. Inf. Display*, 19, 48 (2011).
- [7] A. Abileah, W. den Boer, T. Larsson, T. Baker, S. Robinson, R. Siegel, N. Fickenscher, B. Leback, T. Griffin, and P. Green, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 35, 1544 (2004).
- [8] R. L. Jiang, S. L. Gu, N. Jiang, Z. Li, J. Xu, S. M. Zhu, L. Q. Hu, and Y. D. Zheng, *J. Vac. Sci. Technol.*, 15, 968 (1997).
- [9] C. T. Lee, J. H. Cheng, and H. Y. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, 91, 091920 (2007).
- [10] T. Iwasa, T. Kaneko, I. Nakamura, and M. Isomura, *Phys. Status Solidi.*, A207, 617 (2010).
- [11] I. Nakamura, T. Ajiki, and M. Isomura, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 910, 0910 (2006).
- [12] A. Fedala, C. Simon, N. Coulon, T. Mohammed-Brahim, M. Abdeslam, and A. Chami, *Phys. Status Solidi.*, C7, 762 (2010).
- [13] E. V. Jelenkovic, K. Y. Tong, and Z. Sun, *J. Vac. Sci. Technol.*, A15, 2936 (1997).
- [14] M. Renucci, J. Renucci, and M. Cardona, *Light Scattering in Solids* (Flammarion, Paris, 1971) p. 326.