

장파장용 HgCdTe 적외선 감지 OO LWIR HgCdTe Infrared Photodetector

홍길동 · 김철수 · 이희철

Gil-Dong Hong · Chul-Soo Kim · Chul Lee

한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공, 대전 305-701

* 한국과학기술원 전자광학특화연구센터

(발표자 연락처: 홍길동_abc114@add.re.kr)

[ABSTRACT]

Hg_{1-x}Cd_xTe(MCT)는 적외선을 감지하는 물질로서 1960 년경부터 연구되기 시작했다. MCT 는 직접 천이 반도체로써 빛에 대한 감지도가 높아 성능이 우수한 소자를 제작할 수 있다. 또한, 조성비 x 값을 변화하여 감지하고자하는 적외선 대역에 최적인 금지대역(bandgap)을 갖도록 조절할 수 있다.[1] 따라서, 조성비 $x=0.3$ 인 MCT 는 금지대역이 0.25 eV 로써, 3-5 μm 대역의 적외선을 감지하게 되고 OOO OOO OOOO .

[KEYWORDS] Selected keywords relevant to the subject

1. 서론

Hg_{1-x}Cd_xTe(MCT)는 적외선을 감지하는 물질로서 1960 년경부터 연구되기 시작했다. MCT 는 직접 천이 반도체로써 빛에 대한 감지도가 높아 성능이 우수한 소자를 제작할 수 있다. 또한, 조성비 x 값을 변화하여 감지하고자하는 적외선 대역에 최적인 금지대역(bandgap)을 갖도록 조절할 수 있다.[1] 따라서, 조성비 $x=0.3$ 인 MCT 는 금지대역이 0.25 eV 로써, 3-5 μm 대역의 적외선을 감지하게 되고, $x=0.2$ 인 MCT 는 금지대역이 0.1 eV 로써 8-12 μm 대역의 적외선을 감지하게 된다. 일반적으로 금지대역폭이 작은 $x=0.2$ MCT 를 이용한 소자 제작은 표면이 작은 전하에도 쉽게 축적(accumulation)되거나, 공핍(depletion)되기 때문에 $x=0.3$ MCT 적외선 감지소자 제작에 비해 훨씬 어려운 것으로 알려져 있다.

목표물에서 발생하는 적외선을 감지하는 방법은 크게 열형 감지기(Thermal detector)와 광자형 감지기(Photon detector)로 나뉘어 지는데, 이 중 광자형 감지기는 다시 광전압형(Photovoltaic type)과 광전도형(Photoconductive type)으로 나뉘어 진다. 본 연구에서 제작된 HgCdTe 소자는 p-n 접합을 갖는 광전압형으로서, 입사된 적외선에 의해서 발생하는 광신호와 소자에서 자체적으로 발생하는 잡음의 비가 감지기의 성능을 결정하게 되므로, 감지기의 잡음이 가장 중요한 평가항목이 된다.

전체 잡음은 평가 성능지수로 사용하고 있는 정규화 탐지도(D^* : Normalized detectivity)를 결정하게 되는데, D^* 는 다음과 같다.

소자의 thermal 잡음은 background photon 에 의한 잡음의 10%라고 가정하여 90% BLIP R0A 를 규정하면, 77K 에서의 차단 파장이 10 μm 이고 detector 가 바라보는 background 의 field of view(FOV)를 180°로 가정하면, BLIP R0A 는 약 1.7 $\Omega \text{ cm}^2$ 이다.

본 논문에서는 수소화에 의한 접합 형성과 수소화를 이용한 소자제작, 그리고, 열영상 구현을 위해 필수적인 실리콘 신호취득회로에 대해서 설명하고자 한다.

2. 수소화에 의한 LWIR 소자 제작

본 연구실에서 LWIR MCT 다이오드는 p 기판에 이온주입을 하여 선택적으로 n type 으로 바꾸는 공정을 기본으로 하고 있다. 이러한 공정은 접합에 이온주입으로 생긴 손상으로 인해 역방향 터널링 전류가 큰 특성을 보인다. 이런 역방향 터널링 전류성분을 줄이기 위해서 이온주입후 열처리를 하게 되는데, 비록 손상이 적은 영역으로 접합이 이동하여 다이오드의 역방향 특성이 좋아지는 등 다

이오드 특성이 전반적으로 향상되기는 하나, 성능지수인 R0A 를 근본적으로 증가시키는 기판의 소수 운반자 수명에 변화를 주지는 못한다.

수소화가 수은 빈자리로 도핑된 MCT 기판의 소수 운반자 수명을 늘릴 수 있을 거라 생각되어 도입되었다.[2] 수소화를 위한 수소 플라즈마 발생 장치로서는 유도 결합 플라즈마(Inductive Coupled Plasma, ICP)가 쓰였는데, 이는 유도 결합 플라즈마 장비는 다른 플라즈마 장비들에 비해 bias 가 덜 가해지므로 이온이 기판에 주는 손상이 작다.

이온 주입 후 수소화를 통해 소수전자수명이 증가할 것으로 예상하여 소수 전자 수명을 LBIC (Laser Beam Induced Current)을 이용하여 측정해 보았으나, 변화가 없었다. 한편, 수소화가 기판에 어떤 영향을 끼치는 가를 알아보기 위해서 수소화 후 기판의 differential hall 측정을 해 보았다. 그림 1 은 bulk 기판의 전면에 수소화만을 한 후 differential hall 측정을 통하여 기판의 타입과 농도를 깊이방향으로 측정한 결과이다. 수소화 조건은 300 W, 30 mTorr 에서 수소화를 1 시간 하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 표면으로부터 일정 영역은 n 형으로 변화한 것을 알 수 있으며, 특히 p 영역과의 경계에서 농도가 $\sim 10^{14}/\text{cm}^3$ 의 낮은 농도를 보이는 것을 알 수 있다. 표면 부근의 높은 n 농도는 플라즈마 데미지에 의해서 형성될 수 있으나, 그 아래의 n-영역 농도는 원래 기판에 포함되어 있는 불순물에 의한 농도로 생각된다. 또한 n 영역 이후의 p 의 농도가 거리에 따라 exponential 로 증가하여 원래의 기판 농도로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 수소가 확산에 의해서 기판으로 들어가게 되고, 거리에 따라서 수소의 농도가 감소하게 되면, 점점 수은 빈자리를 채우는 수소의 양이 작아지게 되고 원래 p 형의 농도가 나타나게 되는 것으로 생각된다.



그림 1. 강하게 수소화된 bulk 기판의 농도 변화.

수소화한 기판의 differential hall 측정 결과와 수소의 SIMS 깊이 분포 결과를 그림 2 에서 비교해 보았다. 이 때, 타입이 n 으로 바뀐 영역의 전자 농도와 수소의 깊이 농도의 경향이 일치함을 볼

수 있다. 또한, 수소화에 의해 수은 빈자리 도핑된 웨이퍼는 p-형이 n-형으로 바뀌었으나, Au 도핑된 웨이퍼는 type conversion 이 일어나지 않았고, 이온 주입 공정에 의해서는 두 웨이퍼 모두 접합이 형성된 결과로부터, 수소화에 의한 접합 형성은 데미지라기 보다는, 수소 확산에 의한 수소와 수은 빈자리의 결합에 의해서 접합이 형성된다고 볼 수 있다.

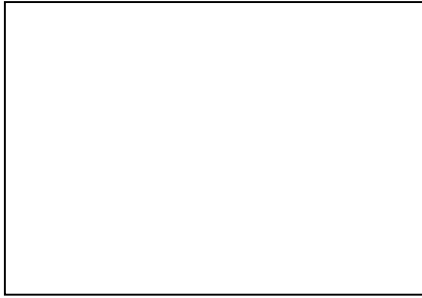


그림 2. 수소화한 접합의 doping profile 과 수소 이온의 SIMS 측정 결과.

수소화만으로 p-n 접합을 형성할 수 있도록, 플라즈마 파워, 공정압력, 시편과 quartz window 와의 거리등을 변화하여 그림 3 과 같이 접합의 깊이가 약 5 μm 가 되도록 최적화 실험을 하였다.

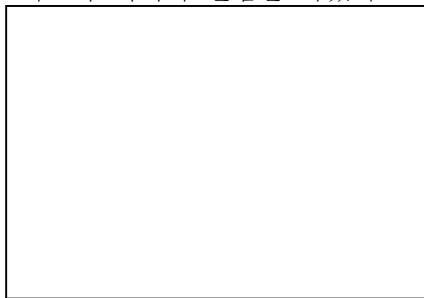


그림 3. 최적화된 수소화 조건.

이 최적화 실험결과 얻은 최적화된 수소화 공정은 공정압력 10 mtorr, 플라즈마 파워 200 W, quartz 에서 window 까지 거리 12 cm, 공정시간 1 분이였다.

그림 4 는 최적화된 수소화 공정으로 제작된 다이오드와 이온 주입 후 열처리 공정으로 제작된 다이오드를 비교한 것이다. 두 다이오드 모두 dark 상태에서의 측정 결과이다. 그림에서 보듯이, 전체적인 RdA 값이 5 배정도 수소화 공정으로 만들어진 다이오드가 좋음을 알 수 있다. 이 때 ROA 값은 109 Ωcm^2 로서 BLIP 조건을 훨씬 넘어서고 있다.

그림 4. 수소화에 의한 소자와 이온 주입 공정에 의한 소자의 성능 비교.

그림 4 는 수소화 공정으로 만들어진 다이오드들의 감지도 측정 결과이다. Field of View(FOV)는 50° 에서 최대 감지도는 파장 8.5 μm 에서 3.2x10¹¹Jones 이며, cutoff 파장은 9.1 μm 이다.

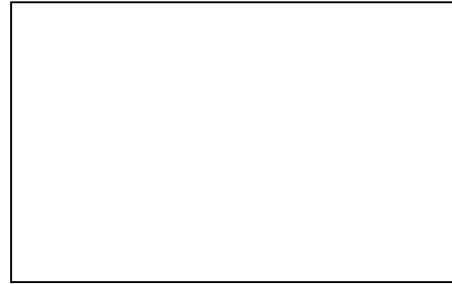


그림 4. 수소화에 의한 접합을 이용한 소자의 광 특성.

3. TDI 용 ROIC 의 제작 및 특성

실리콘 신호취득회로는 적외선 감지소자 배열에서 적외선을 받아 생기는 작은 전류를 영상을 구현할 수 있도록 신호처리를 하면서, 순차적으로 밖으로 뽑아내는 회로이다. 신호취득회로에서 Time Delay Integration (TDI)의 방법을 통해 이미지 센서를 parallel serial scanning mode 로 동작시킴으로써 SNR (signal to noise ration)을 증가시킬 수 있다. 이것은 여러 개의 적외선 감지 소자로부터의 신호를 시간 지연을 두어 더함으로써 이루어 질 수 있는데, 신호는 상호 관련되어 있지만, 노이즈는 상호 관련되어 있지 않기에, n 개의 stage 를 사용하면 다면, 신호는 n 배 증가하고, 노이즈는 상호 관련되어 있지 않기에 SQRT n 배만큼 증가하여, SNR 측면에서 SQRT n

배만큼 이득을 보게 되는 것이다.
중간 생략

그림 8 은 본 연구실에서 개발한 CMDI (current mirroring direct injection) 회로의 회로도이다.[3] Mn1 과 Mn2 가 current mirror 구조이므로 Mn2 의 소스 전압(적외선 감지 소자의 바이어스 전압)은 Mn1 의 소스 전압과 같아지게 되어 적외선 감지 소자의 바이어스 전압은 0V 를 유지하게 된다.



그림 8. CMDI 회로의 회로도.

그림 9는 DI, BDI, CMDI 입력 회로에 대해 적외선 감지 소자의 동적 저항을 바꾸며 모의실험한 결과로서 CMDI 회로는 작은 동적 저항을 가지는 적외선 감지 소자에 대해서도 100% 주입 효율 특성을 보이고 있다. 또한, CMDI 회로는 BDI 회로에서 사용되는 증폭기를 포함하지 않으므로 전력 소모가 적고 BDI 회로 보다 작은 면적으로 제작 가능하며, MOSFET의 threshold voltage mismatch에 의한 셀 간의 바이어스 전압 변화에도 우수한 특성을 보인다..

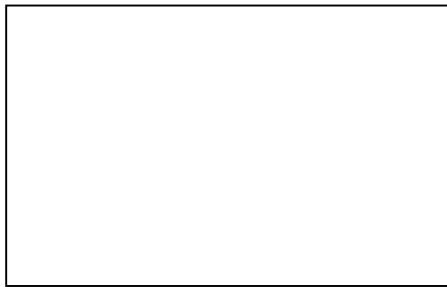


그림 9. 적외선 감지 소자의 동적 저항에 따른 주입 효율 비교.

V. 결론

열처리 후 수소화를 도입하는 것에 한 걸음 더 나아가서, 수소화만으로 n 영역을 형성하는 공정을 개발하였다. 수소화를 수행할 경우 수소가 p 기판의 acceptor를 형성하고 있는 수은 빈자리를 채우면서 residual impurity의 type이 드러나 n type으로 type conversion이 되는 것임을 수소 원자의 SIMS 분포를 측정함으로써 알 수 있었다. 또한 수소의 확산을 통해서 n 접합 쪽이 작고 적외선이 입사되는 CdTe 기판 방향으로 커지는 hole 농도 grading으로 LWIR 소자의 특성을 지배하고 있는 확산 전류를 매우 크게 줄이면서 R_0 를 증가시키게 되는 것으로 여겨진다.

신호취득회로에 있어서는 20×4 TDI용 신호취득회로의 동작을 확인하였으며, 새로운 방식의 입력회로인 CMDI ROIC 설계 기술을 통해 R_0 가 작은 LWIR 소자에 있어서는 injection efficiency가 1이 되는 ROIC를 제작할 수 있게 되었다.

REFERENCES:

- [1] 201805070001, S. R. Lee, H. Berry, O. Temam, and M. Lipasti, "Performance improvement of WDM channels using inline dispersion management in transmission links with OPC placed at various position," The Journal of Korea Navigation Institute, Vol. 14, No. 5, pp. 668-676, Oct. 2010.
- [2] S. R. Lee, H. Berry, O. Temam, and M. Lipasti, "Performance improvement of WDM channels using inline dispersion management in transmission links with OPC placed at various position," The Journal of Korea Navigation Institute, Vol. 14, No. 5, pp. 668-676, Oct. 2010.
- [3] J. G. Proakis, Digital Communications, 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1993.
- [4] J. L. Hennessy and D. A. Patterson, Instruction-level parallelism and its exploitation, in Computer Architecture: A Quantitative Approach, 4th ed. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Pub., ch. 2, pp. 66-153, 2007
- [5] 201805130002, A. Hashmi, H. Berry, O. Temam, and M. Lipasti, "Automatic abstraction and fault tolerance in cortical microarchitectures," in Proceeding of the 38th Annual International Symposium on Computer Architecture, New York: NY, pp. 1-10, 2011.
- [6] 201711030141, B. Alavi, "Distance measurement error modeling for time- of-arrival based indoor geolocation", Ph.D. dissertation, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, 2006.
- [7] Y. Z. Ben, D. K. John, and Anthony, Tapestry: An infrastructure for fault-tolerant wide-area location and routing, University of California, Berkeley: CA, Technical Report CSD-01-1141, 2001.
- [8] Malardalen Real-Time Research Center. The worst-case execution time (WCET) analysis project [Internet]. Available: <http://www.mrtc.mdh.se/projects/wcet/>.
- [9] H. Nowakowska, M. Jasinski, P. S. Debicki and J. Mizeraczyk (2011, October). Numerical analysis and optimization of power coupling efficiency in waveguide-based microwave plasma source. IEEE Transactions on Plasma Science [Online]. 39(10), pp. 1935-1942. Available:http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=6012536.