ISSN:1226-7244 (Print)
ISSN:2288-243X (Online)
논문번호 18-02-28

j.inst.Korean.electr.electron.eng.Vol.22,No.2,427~431,June 2018
http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.2.427
201

전력 반도체 응용을 위한 HVPE법에 의한 Ga_2O_3 에피성장에 관한 연구

Ga_2O_3 Epi Growth by HVPE for Application of Power Semiconductors

강 이 구 *★

Ey Goo Kang*★

Abstract

This research was worked about Ga_2O_3 Epi wafer that was one of the mose wide band gap semiconductors to be used power semiconductor industry. This wafer was grown 5.3㎛ thickness on Sn doped Ga_2O_3 Substrate by HVPE(Hydride Vapor Phase Epitaxy). Generally, we can fabricate 600V class power semiconductor devices when the thickness of compoound power semiconductor is 5㎛. but in case of Ga_2O_3 Epi wafer, we can obtain over 1000V class. As a result of J-V measurment of the grown Ga_2O_3 Epi wafer, we obtain 2.9-7.7mΩ·cm^2 on resistance. Specially, in case of reverse, we comfirmed a little leakage current when the reverse voltage is over 200V

요 약

본 논문에서는 최근 전력반도체 산업에서 활용되어지는 와이드밴드갭 반도체 중에 하나인 Ga_2O_3를 이용한 에피웨이퍼 성장에 관련되어 서술하였다. GaN 성장시 활용되어지는 HVPE법을 이용하여 Sn이 도핑된 Ga_2O_3 기판웨이퍼에 평균 5.3㎛ 두께로 성장시켰다. 일반적으로 화합물반도체의 에피 두께가 5㎛일 경우 SiC의 경우 600V 전력반도체 소자를 제작할 수 있으며, Ga_2O_3 에피웨이퍼의 경우에는 1000V이상의 전력소자를 제작할 수 있다. 성장된 에피웨이퍼의 J-V 측정 결과 2.9-7.7mΩ·cm^2의 온저항을 얻을 수 있었으며, 역방향의 경우 상당히 높은 전압에서도 누설전류가 거의 없음을 알 수 있었다.

Key words : Ga_2O_3 Substrate, Ga_2O_3 Epi wafer, Power devices, Wide Band Gap, On resistance

---

** Dept. of Energy IT Engineering, Far East University
★ Corresponding author
E-mail: keg@kdu.ac.kr, Tel: +82-43-879-3648
※ Acknowledgment
This research was supported by Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(20174010201290) and NRF-2017R1D1A3B03029757
Manuscript received Jun. 12, 2018; revised Jun. 22, 2018; Accepted Jun. 26, 2018
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서론

전력 반도체(power semiconductor)는 전력의 변환이나 제어 등을 수행하는 데 사용되는 반도체 소자로 정의되며 종류로는 MOSFET, IGBT, BJT, Thyristor 등이 있다. [1]-[3]

또한, 고내압화, 고전류화, 고주파수화 되어 교류와 직류 사이의 변환 효율을 높이는 것뿐만 아니라 세탁기, 냉장고, 청소기, 엘리베이터, 에스컬레이터에 사용되는 모터를 비롯한 다양한 전자기기에 전력을 공급하거나 안정적으로 원하는 전압과 전류를 공급할 수 있도록 돕는다. 최근 전기자동차의 큰 이슈로 인하여 자동차용 전력반도체 (600, 900, 1,200 V)의 수요가 크게 증가하고 있고 산업기기, 철도, 태양전지 분야에서 전력반도체 모듈의 실용화가 요구되고 있다 [3]-[5].
고전력, 고주파 특성을 갖는 반도체 소자를 구현하기 위해서는 높은 항복 전압과 동시에 높은 전자이동도를 갖는 반도체 소재가 필요하며, 이에 따르는 열적 안정성도 매우 중요하기 때문에 밴드갭이 넓은 SiC, GaN, Ga_2O_3의 필요성이 증대되고 있다.[6]

특히, 갈륨 옥사이드는 4.7 ~ 4.9 eV의 넓은 에너지 밴드갭을 갖기 때문에 고내압, 저손실 전력반도체용 소재로 유용하고, SiC, GaN 보다 3배 더 큰 8MeV/cm 항복전계를 갖는 산화물 반도체로서 전력반도체 시장에서 주목받고 있는 소재이다.

따라서 본 논문에서는 차세대 전력 반도체용 소재로 주목받고 있는 갈륨 옥사이드 에피 성장에 따른 웨이퍼 및 전기적 특성을 분석하여, 전력반도체 소자로의 응용가능성을 제시하고자 하였다.

Ⅱ. 본론

1. Ga_2O_3 에피성장

본 논문에서는 HVPE(Hydride Vapor Phase Epitaxy) 성장법을 이용하여 전력반도체 소자로의 응용이 가능한 Ga_2O_3 에피를 5㎛까지 성장을 시켰다. 그림 1은 본 연구에서 성장한 Ga_2O_3 에피웨이퍼의 구조를 보여주고 있으며, 표 1과 2는 각각 에피층과 기판의 핵심파라미터를 보여주고 있다.

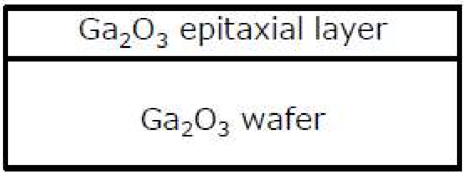

Fig. 1. The Structure of Ga_2O_3 epi wafer.
그림 1. Ga_2O_3 에피 웨이퍼 구조

Table 1. The property of Ga_2O_3 epitaxial layer by the method of HVPE growth
표 1. HVPE 성장법에 의한 Ga_2O_3 에피택셜층의 특성

Property	Specification
Dopant	Si(n-type)
Doping Concentration	order of 1016cm-3
Thickness	5㎛

Table 2. The property of Ga_2O_3 wafer for growth of epitaxial layer
표 2. Ga_2O_3 에피택셜층의 성장을 위한 웨이퍼의 특성

Property	Specification
Dopant	Sn(n-type)
Doping Concentration	1-9×1018cm-3
Thickness	0.65mm
Orientation	(001)
Size	2inch
XRD FWHM	≤350arcsec
Off set angle	0°±1°

표1에 나타낸 것처럼 에피층의 도펀트는 Si이며, 도핑농도는 $10^{16}cm^{-3}$ 정도를 보여주고 있으며, 표2에서 제시한 에피층 성장을 위한 기판웨이퍼의 특성은 n형 Ga_2O_3 웨이퍼이며 도핑농도는 1-9×1018cm-3 분포하고 있다.

2. Ga_2O_3 에피층의 특성

본 절에서는 HVPE 성장법에 의해 성장된 Ga2O3 에피층에 대한 특성을 제시하고 있다. 그림2에서는 성장된 에피택셜 층의 두께 프로파일을 보여주고 있는데, 웨이퍼의 중심부를 기준으로 대부분의 층이 4~6㎛의 두께 분포를 나타내고 있고, 평균적인 두께는 5.3㎛를 나타내고 있다.

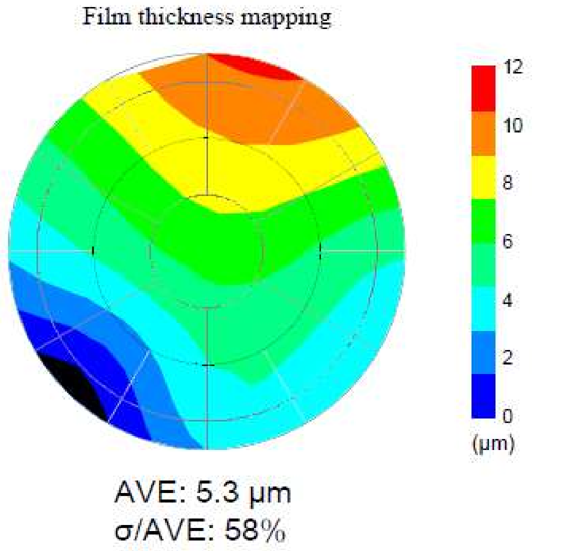

Fig. 2. The film thickness mapping of Ga_2O_3 epitaxial layer
그림 2. Ga_2O_3 에피층의 필름 두께 프로파일

그림 3에서는 n형 Ga_2O_3의 표면 농도 프로파일을 보여주고 있으며, 농도파일은 $2.0 \sim 5.0 \times 10^{16} cm^{-3}$ 분포하고 있으나, 대부분 $3 \times 10^{16} cm^{-3}$ 내외의 균일한 농도파일을 나타내고 있다.

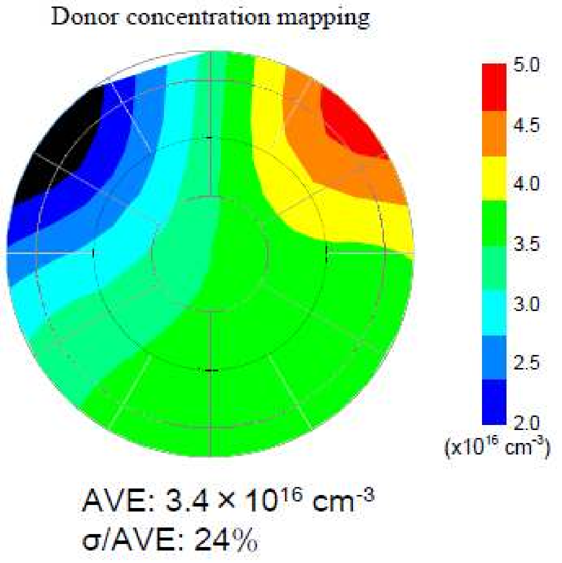

Fig. 3. The donor concentration mapping of Ga_2O_3 epitaxial layer
그림 3. Ga_2O_3 에피층의 도너 농도 프로파일

그림 4에서는 성장된 Ga_2O_3 에피웨이퍼의 활성화 정도를 파악하기 위한 I-V 측정 지점을 표시하고 있다. 이러한 I-V 측정을 하기 위해 애노드 전극과 캐소드 전극을 설치하였으며, 애노드 전극은 Ni(50nm)/Au(200nm)로, 캐소드 전극은 Ti(50nm)/Au(200nm)로 구성되었다.

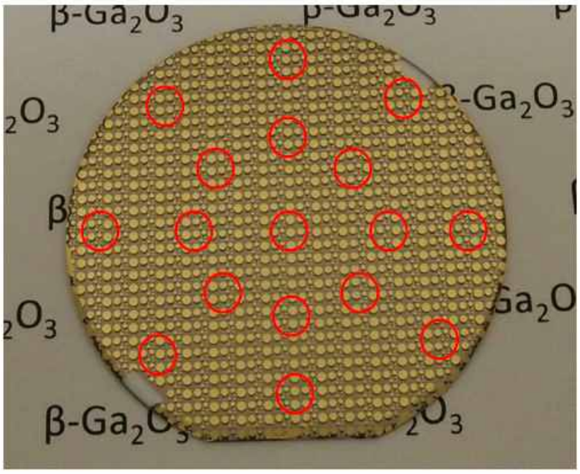

Fig. 4. I-V measurement point of Ga_2O_3 epitaxial layer
그림 4. 성장된 Ga_2O_3 에피층의 I-V 측정 위치

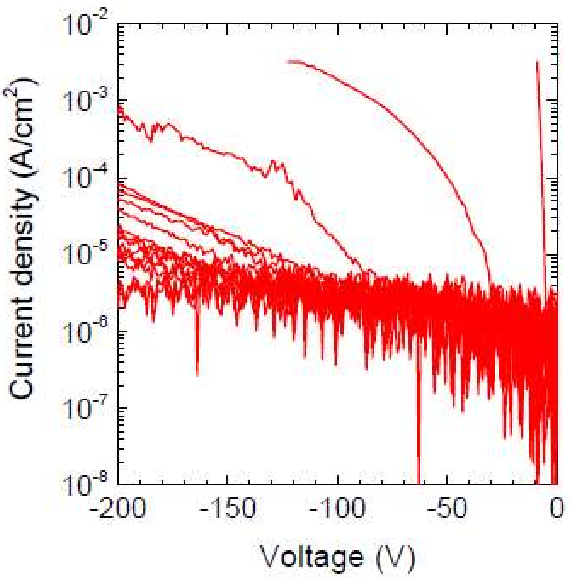

Fig. 5. Reverse J-V Charateristics of Ga_2O_3 epitaxial layer
그림 5. 성장된 Ga_2O_3 에피층의 역방향 J-V 특성

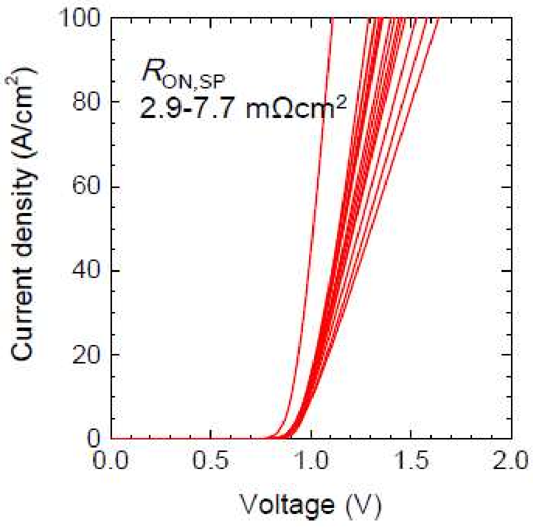

Fig. 6. Foward J-V Charateristics of Ga_2O_3 epitaxial layer
그림 6. 성장된 Ga_2O_3 에피층의 순방향 J-V 특성

그림 5와 6은 역방향 및 순방향 전류밀도-전압 특성을 보여주고 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 극히 일부 측정위치에서 약간의 누설전류가 있기 하지만, 전체적으로 200V까지는 전류가 흐르지 않음을 보이고 있으며, 그림 6에서의 순방향 특성에서는 온 저항이 2.9-7.7mΩ·cm^{2}으로 극히 낮은 값을 나타내고 있어, 전력소자로의 응용이 충분하다는 것을 볼 수 있다.

III 결론

본 논문에서는 최근 전력반도체 산업에서 활용되어지는 와이드밴드갭 반도체 중에 하나인 Ga_2O_3를 이용한 에피웨이퍼 성장에 관련되어 서술하였다. GaN 성장시 활용되어지는 HVPE법을 이용하여 Sn이 도핑된 Ga_2O_3 기판웨이퍼에 평균 5.3㎛ 두께로 성장시켰다. 일반적으로 화합물반도체의 에피 두께가 5㎛일 경우 SiC의 경우 600V 전력반도체 소자를 제작할 수 있으며, Ga_2O_3 에피웨이퍼의 경우에는 1000V이상의 전력소자를 제작할 수 있다. 성장된 에피웨이퍼의 J-V 측정결과 2.9-7.7mΩ·cm2의 온저항을 얻을 수 있었으며, 역방향의 경우 상당히 높은 전압에서도 누설전류가 거의 없음을 알 수 있었다.

References

[1] T. Onuma, S. Saito, K. Sasaki, T. Masui, T. Yamaguchi, T. Honda, and M. Higashiwaki, “Valence band ordering in β-Ga2O3 studied by polarized transmittance and reflectance spectroscopy,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 54, no. 11, p. 112601, 2015.DOI:10.7567/JJAP.54.112601

[2] K. Sasaki, M. Higashiwaki, A. Kuramata, T. Masui, and S. Yamakoshi, “Ga2O3 Schottky barrier diodes fabricated by using single-crystal β-Ga2O3 (010) substrates,” *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 34, no. 4, pp. 493–495, 2013. DOI:10.1109/LED.2013.2244057

[3] M. Higashiwaki, K. Sasaki, K. Goto, K. Nomura, Q. T. Thieu, R. Togashi, H. Murakami, Y. Kumagai, B. Monemar, A. Koukitu, A. Kuramata, and S. Yamakoshi, “Ga2O3 Schottky barrier diodes with *n*−-Ga2O3 drift layers grown by HVPE,” in *Proc. 73rd IEEE Device Res. Conf.*, pp. 29–30, 2015. DOI:10.1109/DRC.2015.7175536

[4] M. Higashiwaki, K. Sasaki, A. Kuramata, T. Masui, and S. Yamakoshi, “Gallium oxide (Ga2O3) metal-semiconductor field-effect transistors on single-crystal β-Ga2O3 (010) substrates,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 100, no. 1, p. 013504, 2012. DOI:10.1063/1.3674287

[5] K. Sasaki, M. Higashiwaki, A. Kuramata, T. Masui, and S. Yamakoshi, “Si-ion implantation doping in β-Ga2O3 and its application to fabrication of low-resistance ohmic contacts,” *Appl. Phys. Exp.*, vol. 6, no. 8, p. 086502, 2013.DOI:10.7567/APEX.6.086502

[6] M. Higashiwaki, K. Sasaki, T. Kamimura, M. H. Wong, D. Krishnamurthy, A. Kuramata, T. Masui, and S. Yamakoshi, “Depletion-mode Ga2O3 MOS field-effect transistors on β-Ga2O3 (010) substrates and temperature dependence of their device characteristics,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 103, no. 12, p. 123511, 2013. DOI:10.1063/1.4821858

BIOGRAPHY

Ey-Goo Kang(Member)

1993 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University
1995 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University
2002 : Ph. D degree in Electrical Engineering, Korea University
2003～2018 : Professor, Far East University. Faculty is Power Devices and ICs.