

# 전기자동차용 이중 게이트 구조를 갖는 전력 IGBT소자의 전기적인 특성 분석

## Analysis of Electrical Characteristics of Dual Gate IGBT for Electrical Vehicle

강 이 구\*  
Ey Goo Kang\*

### Abstract

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) device is a device with excellent current conducting capability, it is widely used as a switching device power supplies, converters, solar inverter, household appliances or the like, designed to handle the large power. This research was proposed 1200 class dual gate IGBT for electrical vehicle. To compare the electrical characteristics, The planar gate IGBT and trench gate IGBT was designed with same design and process parameters. And we carried to compare electrical characteristics about three devices. As a result of analyzing electrical characteristics, The on state voltage drop characteristics of dual gate IGBT was superior to those of planar IGBT and trench IGBT. Therefore, Aspect to Energy Loss, dual gate IGBT was efficiency. The breakdown voltage and threshold voltage of planar, trench and dual gate IGBT were 1460V and 4V.

### 요 약

본 논문에서는 플래너 게이트 및 트렌치 게이트의 구조를 동시에 가지고 있는 1200V급 이중 게이트 IGBT 소자를 제안함과 동시에 전기적인 특성을 분석하였으며, 분석된 결과를 가지고 플래너 게이트 및 트렌치 게이트 IGBT 소자의 전기적인 특성과 비교 분석하였다. 이중 게이트 IGBT 소자를 설계하는데 있어 문턱전압 및 온 상태 전압 강하에 영향을 주는 P-베이스 영역에 있어 P-베이스에 깊이는 트렌치 게이트 소자 영역에 영향을 주며, P-베이스에 너비는 플래너 게이트 소자 영역에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 이중 게이트 IGBT 소자의 전기적인 특성인 항복전압은 1467.04V, 온 전압 강하는 3.08V, 문턱전압은 4.14V의 특성을 나타내고 있다.

*Key words* : Dual Gate, Trench Gate, IGBT, Breakdown Voltage, On-State Voltage Drop

### 1. 서론

\* Dept. of Photovoltaic Engineering, Far East University

★ Corresponding author

email: keg@kdu.ac.kr, tel: 043-879-3648

anuscript received Feb. 18, 2017; accepted Mar. 28, 2017

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.

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 소자는 전류전도 능력이 뛰어난 소자이며, 큰 전력을 처리하기 위해 설계된 스위칭 디바이스로서 전원 공급 장치, 변환기, 태양광인버터, 가전제품 등에 널리 사용되고 있다[1],[2]. 이러한 IGBT는 파워 반도체 소자인 만큼 항복 전압과 온-상태 전압

강하, 스위칭 속도, 신뢰성의 이상적인 파워 반도체 소자의 요구사항을 목표로 하고 있다. 일반적으로 드리프트 영역의 농도를 낮추게 되면 항복 전압은 증가하지만 온 저항과 같은 기타 특성들이 감소하게 되므로 설계의 최적화 및 구조 변경을 통해 항복전압특성과 온 상태 전압강하 특성을 개선 시켜야 한다. 이렇듯 IGBT 소자의 효율을 높이기 위해 트레이드-오프 관계를 최적화 시키고자 여러 가지 구조들이 나오고 있다. IGBT는 보편적으로 600V~1700V급을 사용하는 스위칭 산업 분야중 신재생에너지용 인버터 분야, SMPS, 전기자동차의 배터리 전원장치 등 다양한 산업에서 필수적인 부품으로 사용되고 있다[3-5].

본 논문에서는 전기자동차용 1200V급 이중 게이트 IGBT 구조를 제시하였다. 이러한 이중 게이트 구조는 플래너 게이트와 트랜치 게이트 구조가 한 소자에 모두 설계되어 있는 구조이며, 제안된 구조의 타당성과 전기적인 특성을 분석하기 위하여 설계 및 공정 파라미터를 도출한 다음 항복전압, 온 전압 강하 및 문턱전압 특성을 서술하였다.

## II. IGBT의 구조 및 설계

### 1. 플래너 게이트 IGBT의 구조 및 설계

그림 1은 플래너 게이트 IGBT의 구조를 나타내고 있으며, 표 1은 플래너 게이트 IGBT의 설계 및 공정 파라미터를 나타내고 있다. 플래너 게이트 IGBT를 설계하기 위해 기본적인 파라미터로 Wafer의 두께는 320 $\mu\text{m}$ , 셀 피치는 10 $\mu\text{m}$ 로 고정하고 실험을 진행하였다. 이러한 파라미터는 트랜치 게이트 및 이중 게이트 IGBT 소자에도 그대로 적용되었다. 항복전압은 1200V로 목표로 설정하였는데, 마진을 20%를 고려한 1450V로 설정하였으며, 1450V에 최대한 가까운 지점을 찾기 위해 에피 비저항을 41 $\Omega$ ~49 $\Omega$ 까지 변화시키면서 전기적인 특성 분석을 진행하였다.

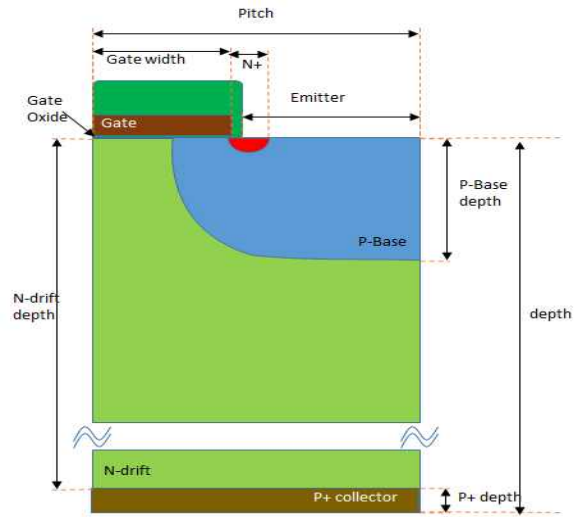


Fig. 1. The Structure of Planer Gate IGBT  
그림 1. 플래너 게이트 IGBT의 구조

Table1. The design and process parameters of planer gate IGBT

표 1. 플래너 게이트 IGBT의 설계 및 공정 파라미터

name	unit	parameter
Pitch	$\mu\text{m}$	10
depth	$\mu\text{m}$	320
Resist	$\Omega$	47
JFET dose	$\text{cm}^{-2}$	$1 \times 10^{12}$
P-Base Dose	$\text{cm}^{-2}$	$6.3 \times 10^{13}$
Gate Width	$\mu\text{m}$	4.25
N+ Width	$\mu\text{m}$	1
Emitter Width	$\mu\text{m}$	7.571
Gate Oxide	$\mu\text{m}$	0.093
P-Bass depth	$\mu\text{m}$	3.441
P+ depth	$\mu\text{m}$	0.475
N-drift depth	$\mu\text{m}$	42.9402

### 2. 트랜치 게이트 IGBT의 구조 및 설계

그림 2는 트랜치 게이트 IGBT의 구조를 나타내고 있으며, 설계 및 공정 파라미터는 플래너 게이트와 같은 파라미터를 사용하고 있으며, 목표로 하는 항복전압도 1450V이다. 여기서 다른 점은 게이트 구조를 트랜치 구조로 가져가고 있으며, 트랜치 깊이는 5 $\mu\text{m}$ 으로 설정을 하였다. 최적의 에피 비저항을 설정하기 위해서 역시 에피 비저항을 41 $\Omega$ ~49 $\Omega$ 까지 변화시키면서 전기적인 특성 분석을 진행하였다.

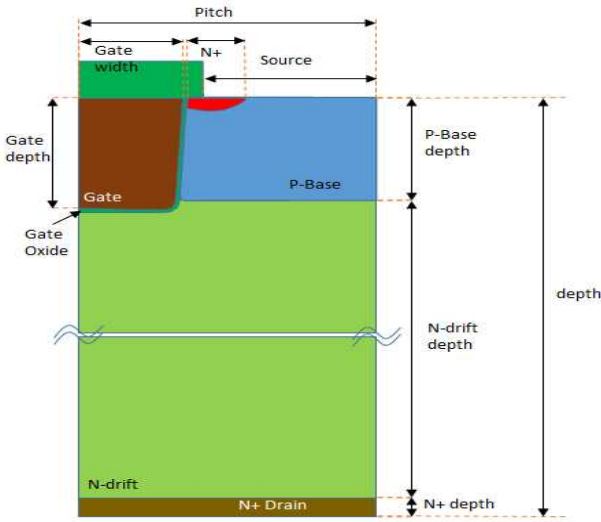


Fig. 2. The Structure of trench Gate IGBT  
그림 2. 트렌치 게이트 IGBT의 구조

3. 이중 게이트 IGBT의 구조 및 설계

그림 3은 이중 게이트 IGBT의 구조를 나타내고 있으며, 설계 및 공정 파라미터는 플래너 게이트 및 트렌치 게이트와 같은 파라미터를 사용하고 있으며, 목표로 하는 항복전압도 1450V이다. 여기서 다른 점은 한 소자 안에 두 가지의 게이트 구조를 채용하고 있는데, 즉 플래너 게이트 및 트렌치 게이트 모두 가지고 있다는 것이 특징이다. 최적의 에피 비저항을 설정하기 위해서 역시 에피 비저항을 41Ω~49Ω까지 변화시키면서 전기적인 특성 분석을 진행하였다.

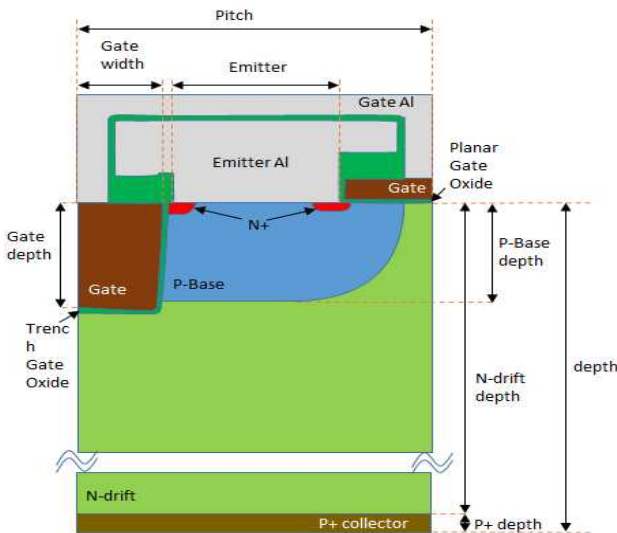


Fig. 3. The Structure of dual gate IGBT  
그림 3. 이중 게이트 IGBT 소자의 구조

III. IGBT의 전기적 특성 분석

1. 플래너 게이트 IGBT의 전기적 특성 분석

최적의 에피 비저항을 선택하기 위해 앞서 설명한대로 에피 비저항을 41Ω~49Ω까지 변화시키면서 항복 전압 특성을 분석하였다.

그림 4에 나타낸 것처럼, 에피 비저항이 증가하면 할수록 항복전압은 증가하는데, 설정한 1450V 이상의 값을 나타내는 시점의 에피 비저항의 값은 47Ω이며, 이 값을 최적의 값으로 보았으며, 온 전압 강하 및 문턱 전압도 이 값으로 설정하여 분석을 수행하였다.

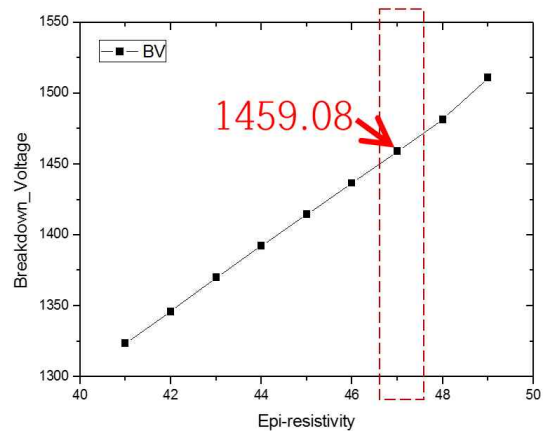


Fig. 4. The Breakdown Voltage of planer gate IGBT according to Epi-Resistivity

그림 4. 에피 저항 변화에 따른 플래너 게이트 IGBT 소자의 항복 전압 특성

그림 5는 P 베이스의 농도를 변화시키면서 문턱 전압과 온 상태 전압 강하 특성을 나타내고 있다. 에피층의 비저항을 47Ω으로 고정하고 P-base의 Dose를  $6.1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2} \sim 6.9 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 으로 변화시키면서 온 상태 전압 강하 및 문턱 전압 특성을 분석하였다. 그림 5에 나타낸 것처럼, 문턱 전압은 4.04V, 온 상태 전압 강하는 4.69V로 분석되었다.

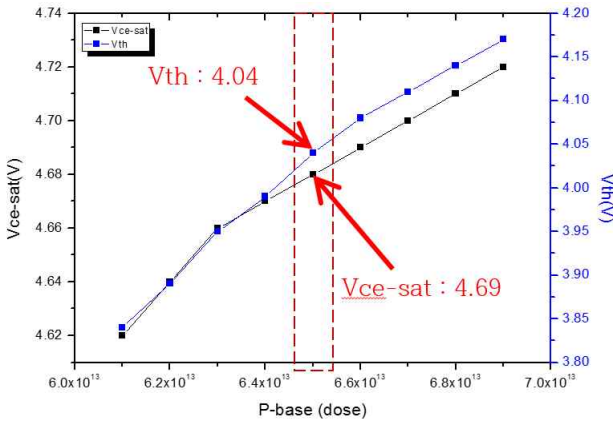


Fig. 5. The on state voltage drop and threshold voltage characteristics of planer gate IGBT according to p base dose

그림 5. P 베이스 농도 변화에 따른 플래너 게이트 소자의 온 상태 전압 강하와 문턱 전압 특성

2. 트렌치 게이트 IGBT의 전기적 특성 분석

트렌치 게이트 IGBT의 항복 전압을 그림 6에서 보여주고 있다. 플래너 게이트 IGBT와 같은 방식으로 측정 및 분석을 하였으며, 분석 결과 에피 저항이 47Ω일 때, 플래너 게이트 IGBT보다 20V 높은 1475.12V를 나타내 항복 전압 특성이 좋아지고 있다는 것을 알 수 있었다.

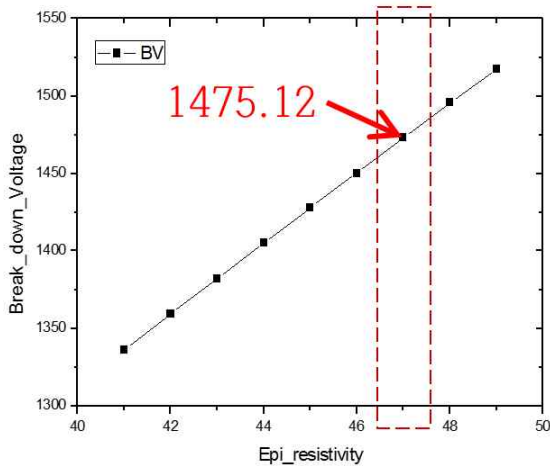


Fig. 6. The Breakdown Voltage of trench gate IGBT according to Epi-Resistivity

그림 6. 에피 저항 변화에 따른 트렌치 게이트 IGBT 소자의 항복 전압 특성

다음으로 Epi의 비저항을 47Ω으로 고정하고 P-base의 Dose를  $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2} \sim 4.5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 으로 조절하여 Vth 목표인 4V를 기준으로 하고 온 상태 전압 강하 값인 Vce-sat의 값을 그림 7과 같이

도출하였다. 플래너 게이트와 같은 조건일 때, 온 상태 전압 강하 값은 3.17V로 크게 향상된 것을 볼 수 있으며, 트렌치 게이트 IGBT 소자가 전력 손실의 측면에서 매우 효율적이라는 것을 알 수 있었다.

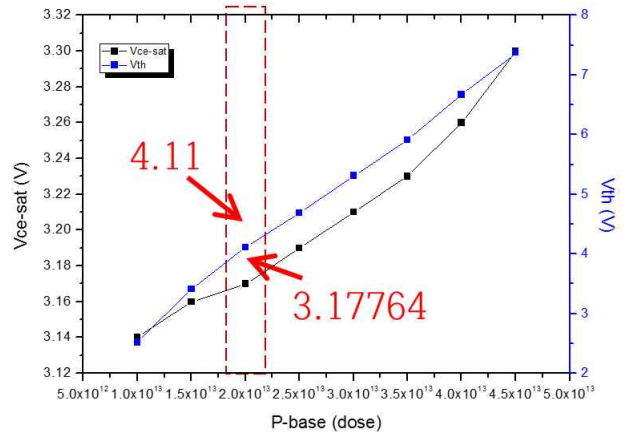


Fig. 7. The on state voltage drop and threshold voltage characteristics of trench gate IGBT according to p base dose

그림 7. P 베이스 농도 변화에 따른 트렌치 게이트 IGBT 소자의 온 상태 전압 강하와 문턱 전압 특성

3. 이중 게이트 IGBT의 전기적 특성 분석

본 논문에서 제안하고자 하는 이중 게이트 IGBT는 플래너 게이트 및 트렌치 게이트의 동일한 파라미터를 가지고 설계를 진행하고, 그 전기적인 특성을 분석하였다.

그림 8에서는 문턱 전압, 온 상태 전압 강하 및 항복전압 특성을 보여주고 있으며, 트렌치 게이트 IGBT와 유사한 전기적인 특성 결과를 보여주고는 있으나, 플래너 게이트 IGBT보다는 우수한 특성을 보여주고 있다. 특히, 스위칭 전력 손실에 크게 영향을 주는 온 전압 강하 상태의 값은 본 논문에서 제안한 이중 게이트 IGBT가 가장 우수한 특성을 보여주고 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 플래너 게이트 및 트렌치 게이트의 구조를 동시에 가지고 있는 1200V급 이중 게이트 IGBT 소자를 제안함과 동시에 전기적인 특성을 분석하였으며, 분석된 결과를 가지고 플래너 게이트 및 트렌치 게이트 IGBT 소자의 전기적인 특성과 비교 분석하였다. 이중 게이트 IGBT 소자를 설계하는데 있어 문턱전압 및 온 상태 전압강하에 영향을 주는 P-베이스 영역에 있어 P-베이스에 깊이는 트렌치 게이트 소자 영역에 영향을 주며, P-베이스에 너비는 플래너 게이트 소자 영역에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 이중 게이트 IGBT 소자의 전기적인 특성인 항복전압은 1467.04V, 온 전압 강하는 3.08V, 문턱전압은 4.14V의 특성을 나타내고 있다.

References

[1] Ey-Goo Kang, Dae-Suk Oh, Dae-Won Kim, Dae-Jong Kim, and Man-Young Sung, "A Novel Lateral Trench Electrode IGBT for Superior Electrical Characteristics," *j.Korean. inst.electr.electron.mater.eng*, vol. 15, no. 9 pp. 758-761, 2002.  
DOI : 10.4313/JKEM.2002.15.9.758

[2] Jae-In Lee, Sung-Min Yang, Young-Seok Bae, and Man-Young Sung, "A Study on the Novel TIGBT with Trench Collector," *j.Korean. inst.electr.electron.mater.eng*, vol. 23, no. 3 pp. 190-194, 2010.  
DOI:10.4313/JKEM.2010.23.3.190

[3] Byoung-Sup Ahn, Hun-Suk Chung, Eun-Sik Jung, Seong-Jong Kim, and Ey-Goo Kang, "High Voltage IGBT Improvement of Electrical Characteristics," *j.Korean.inst.electr. electron.mater.eng*, vol. 25, no. 3, pp. 187-190, 2012.  
DOI:10.4313/JKEM.2012.25.3.187

[4] Jong-Seok Lee, Ey-Goo Kang, and Man Young Sung, "Shielding region effects on a trench gate IGBT," *Microelectronics Journal*,

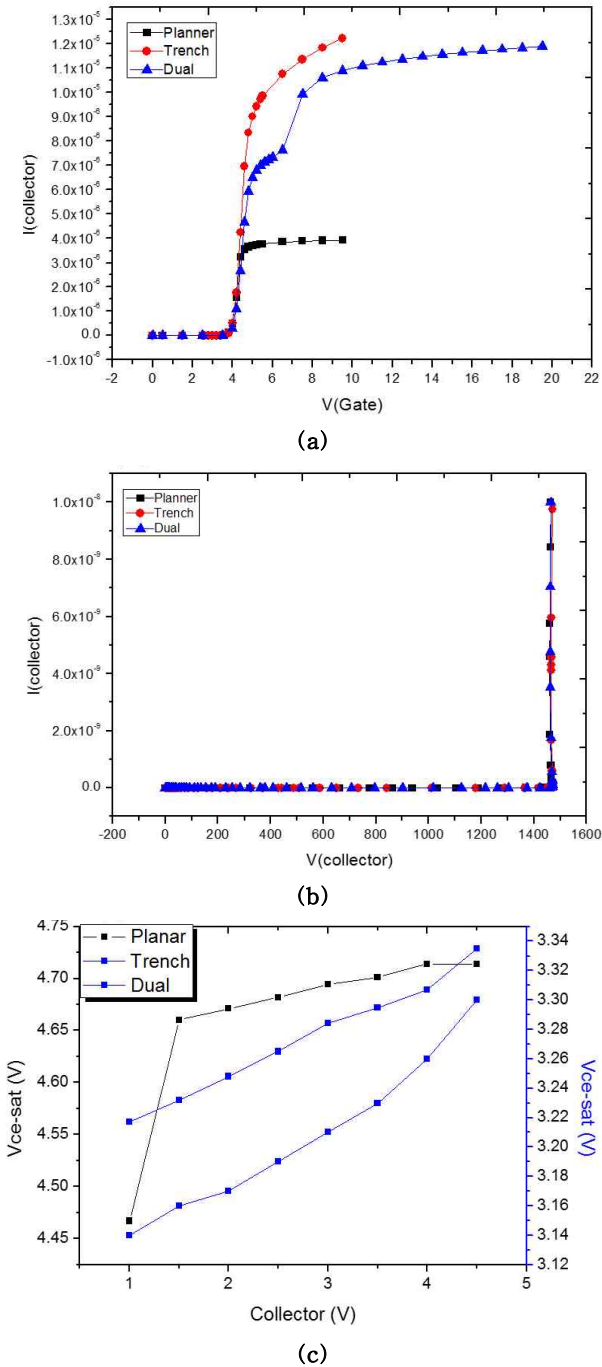


Fig. 8. The electrical characteristics of Planar Gate type IGBT, Trench Gate type IGBT and Dual Gate type IGBT (a) threshold voltage (b) Breakdown voltage (c) On state voltage drop

그림 8. 플래너 게이트, 트렌치 게이트 및 이중 게이트 IGBT 소자의 전기적 특성 (a) 문턱 전압 (b) 항복 전압 (c) 온 상태 전압 강하

vol. 39, no. 1, pp. 57-60, 2008.

DOI:10.1016/j.mejo.2007.10.023

[6] Young-Sung Hong, Eun-Sik Jung, and Ey-Goo Kang, "A Study on Field Ring Design of 600 V Super Junction Power MOSFET," *J.Korean.inst.electr.electron.mater.eng*, vol. 25, no. 4, pp. 276-280, 2012.

DOI:10.4313/JKEM.2012.25.4.276

---

## BIOGRAPHY

---

**Ey Goo Kang** (Life Member)



1993 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.

1995 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.

2002 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

2003~Present : Professor, Far East University