

# 인입 전류에 따른 실리콘(Silicon) 다이오드의 극저온 p-n 접합의 문턱 전압 특성

이안수\*, 이승제\*\*, 이응로\*\*\*, 고태국\*

\*연세대학교 전기전자공학과, \*\*(주)프리컴시스템, \*\*\*기술 표준원

## Properties of p-n junction threshold voltage of Silicon diode by transport current in cryogenic temperature

An-Su Lee\*, Seung-je Lee\*\*, Eung-Ro Lee\*\*\*, Tea Kuk Ko\*  
Dept. of Electrical and Electronic Engineering Yonsei Univ.,  
Freecom system Co.Ltd., KATS\*\*\*

### Abstract

Since the development of semiconductors, various related research has been conducted. During research, silicon diodes have been commonly used because of their simplicity and low cost in the manufacturing process. This research deals with p-n junction threshold voltages from silicon diodes due to transport current at a cryogenic temperature. At a cryogenic temperature(77K) we could get minimum current which junction threshold voltage becomes constant.

This is experimented on GPIB communication and it consist of programmable current source, multimeter which gauge the threshold voltage in a very low temperature caused by transport current from 5nA to 1mA and LN<sub>2</sub>(77K) for coolant. This experiment is programmed all process using Measurement studio(Lab window) tool .

**Key Words : threshold voltage, measurement studio , cryogenic, silicon diode**

## 1. 서 론

반도체산업의 기본 소재가 되는 반도체의 개발은 일찍이 1839년 M.패러데이의 황화은(Ag<sub>2</sub>S) 실험에서 비롯되어, 오늘날 반도체산업을 이루는 반도체의 이용이 시작된 것은 1939년경부터이다.

이 때부터 전기기술의 일부 기초로서 발전해 온 전자기술이 반도체산업을 중심산업으로 하여 모든 산업으로 확산·응용되어 일상생활과 직결되기에 이르렀으며, 사회환경을 변혁시키는 단계까지 이르고 있다. 국내에서도 수 년 전부터 계속하여 반도체의 연구가 이루어졌으며 나아가 반도체 선두국가로 발돋움하게 되었고 더욱 활발할 것으로 기대된다.

그 동안 다이오드는 그 특성에 따라서 여러 분야에서 사용되었고 연구되어지고 있다. 그 중 실리콘

다이오드는 다루기가 쉽고 가격이 낮아 가장 널리 사용되고 있다. 또한 실리콘 다이오드의 온도 특성에 있어 극저온에서도 가능하다.

본 실험에서는 3가지의 다른 용도의 실리콘 다이오드를 사용하였다. 극저온(77K)상태에서 5nA에서부터 1mA까지의 인입전류에 따른 문턱 전압을 고찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 실리콘 다이오드

본 실험에서는 3가지의 다른 실리콘 다이오드를 가지고 행하였다. schottky Barrier rectifier용 다이오드 고속 스위칭용 다이오드와, 그리고 5V용 제너다이오드를 사용하였다.

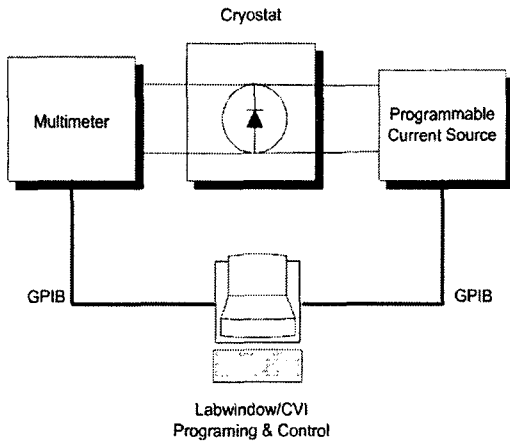


Fig. 1. 실험도.

### 2.1.2 직류 전원 장치

Programmable Current Source를 사용하였다. 이 전원 장치를 사용하여 5nA에서부터 1mA까지의 전류를 프로그래밍하여 공급하였다. V-Limit은 105V로 제한 했으며 극저온 상태에서 직접 확인할 수 없는 회로의 단락이나 다이오드와 전원선의 접촉부의 불량 유무를 확인할 수 있다.

### 2.1.3 냉각 장치, 자기장 및 극저온 환경

극저온을 만들기 위해서 극저온 용기에 냉매로 LN<sub>2</sub>를 사용하여 77K의 저온의 상태를 유지하였다. LN<sub>2</sub>는 액체로서 전류에 의한 다이오드의 상승하는 온도를 즉시 보상하여 극저온 상태를 유지시킬 수가 있어 열적으로 안정하고 회복속도가 빨라질 것으로 생각된다.

실험의 전압 측정은 10<sup>-8</sup> 까지를 측정하였고, 2000Gauss의 자기장을 가한 상태에서의 실험도 하였다.

### 2.1.4 실험 방법

실리콘 다이오드의 냉각 방식은 액체 질소용기에 들어가는 방식을 채택하였다. 미리 프로그램된 전류원이 공급되어지면 냉동 용기 안의 실리콘 다이오드의 양단에서 전압을 채택하였고 같은 주기의 전류원의 공급과 전압을 측정하여 실험하였다.

## 3. 실험 결과

본 실험은 공급 전원이 5nA에서부터 1mA까지 진행되었고 같은 실리콘 다이오드에 2000Gauss 정도의 외부 자기장을 가한 상태에서도 똑같은 실험이 진행되었다. 그 외의 파라미터 값은 항상 동일하게 주어 두 개씩의 실험 결과를 얻었다.

### 3.1 고속 스위칭용 다이오드의 경우

전원 공급이 5nA에서 1mA까지의 경우 고속 스위칭용 다이오드의 전압은 Fig.2과 Fig.3와 같다. Fig.2은 자기장을 가하지 않은 상태의 경우이며 Fig.3는 자기장을 가한 상태의 경우이다.

두 경우 모두 처음에는 포물선 형태로 증가하다가 1V정도에서 포화한다. Fig.2의 경우에는 4uA 정도에서 포화되기 시작하였다. Fig.3의 경우는

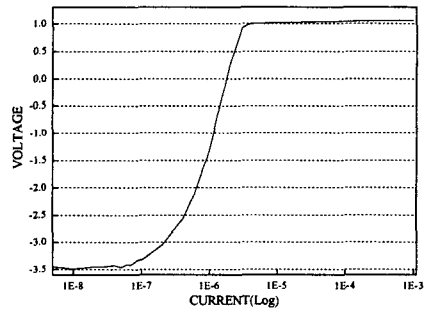


Fig. 2. 고속 스위칭용 다이오드 전압.

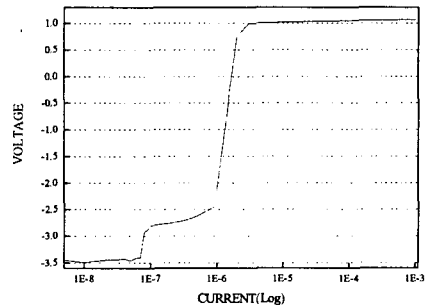


Fig. 3. 자기장을 가한 고속스위칭용 다이오드 전압.

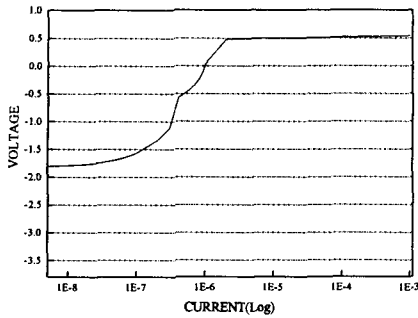


Fig. 4. schottky Barrier rectifier 다이오드 전압

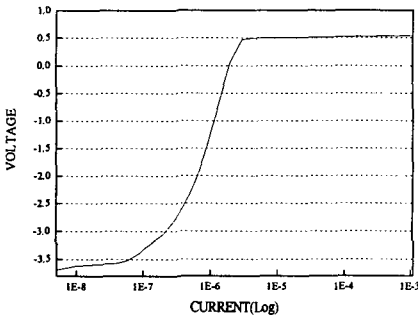


Fig. 5. 자기장을 가한 schottky Barrier rectifier 다이오드의 전압.

Fig.2의 경우보다 1uA정도가 작은 3uA에서 포화하기 시작한다.

Fig.3의 경우에는 0.1uA에서 0.9uA까지도 약간의 포화성 구간이 관찰된다.

### 3.2 schottky Barrier rectifier용 다이오드의 경우

schottky Barrier rectifier용 다이오드의 경우에는 전압은 Fig.4과 Fig.5와 같다. Fig.4은 자기장을 가하지 않은 상태의 경우이며 Fig.5는 자기장을 가한 상태의 경우이다.

schottky Barrier rectifier용 다이오드의 경우에 Fig.3 과 Fig.4와 같이 0.5V에서 포화한다. Fig.3의 경우에는 2uA정도에서 포화를 하게 되고 Fig.5는 3uA정도에서 포화를 한다.

### 3.3 제너 다이오드의 경우

제너다이오드의 경우, 전압은 Fig.6과 Fig.7와 같다. Fig.6은 자기장을 가하지 않은 상태의 경우이며 Fig.7는 자기장을 가한 상태의 경우이다.

Fig.6 와 Fig.7 같은 전압 1V에서 포화한다. Fig.6 와 Fig.7은 20uA정도의 전압에서 둘 다 포화한다.

### 3.4 고찰

앞에서 나온 결과를 요약해 보면, 전압의 포화 값들은 다음과 같다. 고속 스위치용과 제너다이오드는 1V를 가지고, schottky Barrier rectifier 다이오드는 0.5V를 갖는다. 이것은 다이오드의 공핍층에서의 전자의 흐름상태에 따른 것이며 전자는 외부 공급과 불순물에 의한 것이다.

Table.1은 자기장을 가할 때와 그렇지 않을 때의 각 다이오드의 전압이 포화할 때의 전류를 나타내었다. 고속 스위치용과 schottky Barrier rectifier 다이오드는 1uA정도의 차이를 나타내고 제너다이오드는 거의 영향을 받지 않았다.

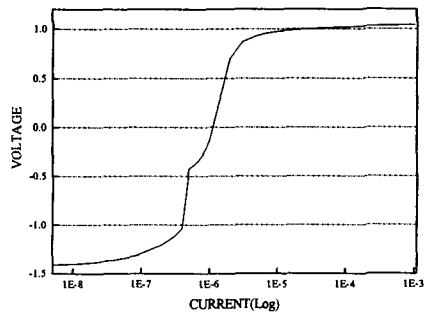


Fig. 6. 5V용 제너다이오드의 전압.

Table.1. 각 diode의 포화 전류.

자기장	고속 스위치용 diode	schottky Barrier rectifier diode	제너 diode
×	4uA	2uA	25u
○	3uA	3uA	25u

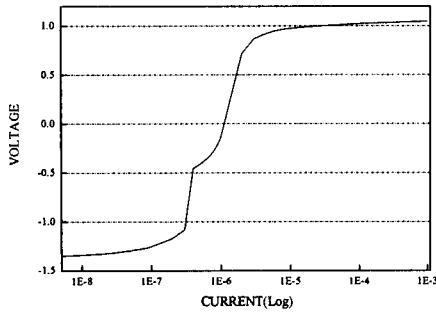


Fig. 6. 자기장을 가한 5V용 제너다이오드의 전압.

를 관찰할 수 있다. Fig3에서 약 90nA정도에서 전압이 갑자기 상승하는 것을 볼 수 있듯이 자기장이 어떤 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Fig5에서는 가장 쉽게 알 수 있는 것이 전압의 크기가 많이 바뀌었다. 극저온에서 얼마간의 ‘-’전압이 존재할 것은 예상했지만 -3.5V이상까지 내려가는 것은 예상치 못했다. 상당히 큰 전압으로 상온에서도 같은 조건으로 실험을 하였다. 상온에서는 20nA까지는 13mV에서 최소 -3.3mV가 관찰되었고 이 이후 전류에서는 다시 올라가게 되었다. 또한 외부 자기장을 가해 줄 때에는 -4.7mV정도에서 10nA이후부터는 전압이 올라갔다. 이러한 특징을 이용할 경우 자기장을 검출할 수도 있을 것이라고 예상된다.

하지만 제너 다이오드의 경우에는 차이가 없다. 자기장을 가하지 않을 때와 가할 때, 최소 포화 전압 그래프의 기울기와 형태에 변화를 관찰할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 5nA에서 1mA까지의 이입 전류를 실리콘 다이오드에 공급하여 p-n 접합의 문턱 전압을 측정하는 실험을 수행하였다. 그 결과 공급 전류에 따른 각 다이오드의 포화 전류 값과 포화 전압 값을 얻었다. 그러므로 극저온(77K)에서 각 다이오드는 최소 포화 전류 값 이상에서는 전류의 크기와 상관하지 않음을 관찰되었으며, 따라서 이러한 특징을 이용할 수가 있다. 또한 자기장을 가하는 실험에 의해서 각 다이오드의 극저온 포화

전압 아래에서는 영향을 주는 것을 알게 되었고 이는 자기장에 관한 여러 연구 방향을 제시한다.

#### 참고 문헌

- [1] Robert F. Pierret, "Semiconductor Device Fundamentals", Addison Wesley, p. 79, p. 81, p. 193, 1996.
- [2] Ben C. Streetman and Sanjay Banerjee, "Solid State Electronic Devices", Prentice Hall, p. 67, p. 97, Fifth Edition, 2000