

고진동 확산 베이스 게르마늄 트랜지스터의 제조 및 전기적 특성

柳
高
金
金

鍾
秉
基
鐵

仁*
宇**
完***
浩****

- I. Introduction
- II. Transistor Fabrication
- III. Electrical Characterization
- IV. Conclusions
- V. Acknowledgement
- VI. Summary
- VII. References

게르마늄 p-n-p transistor가 alloy diffusion method에 依해서 만들어졌다. Diffusion되어 만들어진 base layer는 $(1.6 \pm 0.3) \times 10^{-3}$ cm인 thickness를 가졌으며 maximum β 는 $\beta=15$ 인 값을 갖는 電氣의 特性을 나타냈으며 alpha cut-off frequency는 1.55MHz로 나타났다. 이 transistor의 제작과정, 전기적 특성의 측정 및 doping impurity의 分布에 依해서 決定되는 electrical parameter에 關하여 論議될 것이다.

* 物理學科 副教授
** 物理學科 副教授
*** 物理學科 助教授
**** 物理學科 助教授

I. Introduction

High frequency 用의 transistor를 만들기 위해서는 transistor의 base thickness가 얇아야 한다는 것이 오래 전부터 明白하게 되었다. 이 얇은 base의 layer를 얻기 위해서는 base layer의 diffusion source로서는 Sb를 사용했다. Fuller's work는 Germanium에 있어서는 Group V donor의 diffusion coefficient가 Group III acceptor의 diffusion coefficient 보다 아래 Fig.와 같이 크다는 것을 보였다. 그래서 본 論文에서 diffusion source로서 Sb 3%를 포함한 In-Sb alloy를 썼으며 이것에 依해서 p-n-p transistor를 제작했다.

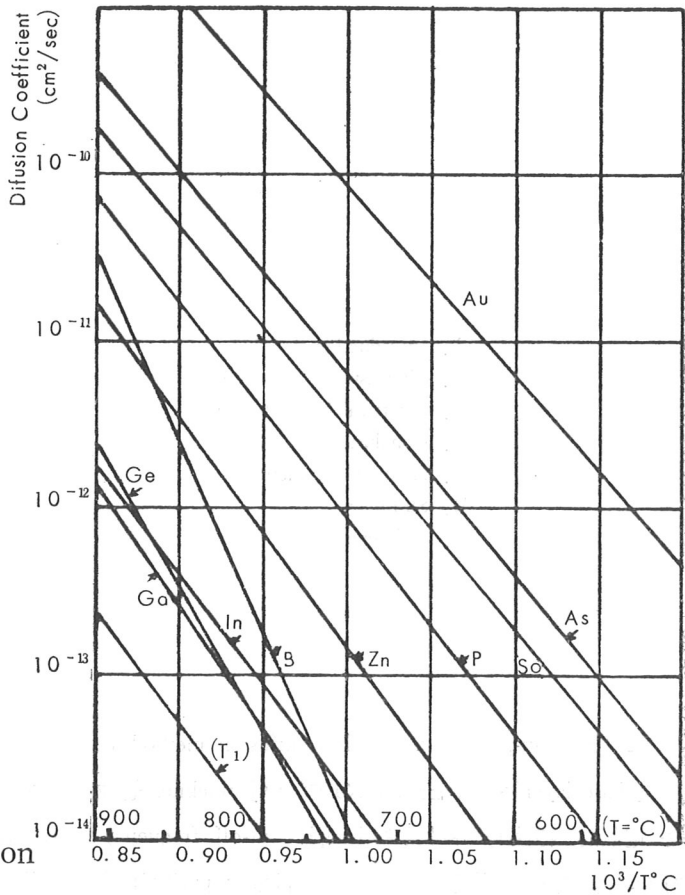


Fig. 1. Ge에 대한 확산 계수

II. Transistor Fabrication

Resistivity 0.8Ωcm이고 <111> direction으로 成長된 p-type Germanium ingot를 미국 Eaglepicher Industries, Inc.에서 구입하여 이것을 rectangular bar로 cutting한 後 28μ인 Al₂O₃와 16μ인 Al₂O₃로 차례차례로 lapping하고 그 後 6μ인 Diamond, 3μ인 Diamond, 1μ인 Diamond, 0.05μ인 Al₂O₃로 차례차례로 polishing하였다. 그 다음 이 polishing 과정에서 생긴 surface damage를 없애기

위해서 CP4로 Chemical etching을 數 micron하여 約 200×60×15mils인 Germanium wafer를 만들고 이것을 deionized water로 씻고 이 표면에 n-type impurity diffusion을 위하여 이것을 眞空 石英管에 넣었다. p-type Germanium wafer와 함께 시리코니트爐 안에 놓여질 n-type impurity source로서는 일본 순정화학회사에서 구입한 Sb가 2% 含有된 Au-Sb alloy가 使用되었다. 이 石英管은 750°C 시리코니트爐 속에 넣어서 約 1hr. 동안 두었다가 25°C까지 cooling하였다. 爐의 온도는 온도조절계에 依해서 control되어 있다.

이렇게 해서 만든 diode의 전기적 특성은 다음 절에서 소개될 것이다.

p-n-p transistor의 emitter와 base의 impurity source로서는 Sb가 3% 含有된 In-Sb alloy가 使用되었다. diffuse하여 된 layer는 sheet conductivity와 thickness로써 계산되었으며 sheet conductivity는 4 point probe method를 썼다. Base thickness는 試料의 surface를 約 (1/2~1°)의 angle로 lapping하고 p-n-p의 junction의 경계를 나타내기 위하여 HF 50cc에 HNO₃ 1~2방울을 떨어뜨린 液에 가볍게 etching한 後 microscope로 봄으로써 측정하였다. 製作된 transistor의 diffused layer의 thickness는 $(1.6 \pm 0.3) \times 10^{-3}$ cm이었고 sheet conductivity는 200Ω/cm²였다. emitter와 base contact는 aluminium과 gold-antimony alloy의 evaporation으로써 행하여졌다. 이렇게 해서 만든 Transistor의 전기적 특성은 다음 절에서 소개된다.

III. Electrical Characterization

(a) High Frequency alloy diffused method의 Diode와 Transistor의 전기적 특성

1) Diode의 전기적 특성

n-type impurity로써 Au-Sb(Sb 2% 包含)를 써서 만든 Diode의 전기적 특성은 아래 표에 나타난 바와 같다. 이 자료에서 알 수 있듯이 Diode에 있어서 Forward current가 0.05mA (50μA) 일 때 Forward voltage는 약 0.62v 정도로 나타나 있고 Reverse current가 0.05mA (50μA) 일 때 Reverse voltage는 2.8v 정도이다. (Fig. 2 참조)

Table 1. Diode의 Forward와 Reverse voltage 및 Current

Forward Volt	0.25 volt	0.4	0.53	0.58	0.62	0.65
Forward Current	10 μA	20	30	40	50	60
Reverse Volt	1.0 volt	1.5	1.9	2.3	2.8	3.0
Reverse Current	10 μA	20	30	40	50	60

(b) p-n-p Germanium Transistor의 전기적 특성

1. Alloy diffused method에 依해서 제작된 Germanium p-n-p transistor collector 특성을 Transistor Curve Tracer로 測定한 結果 아래 사진과 같이 되었다. 이 特性曲線으로 부터 Base 電流增분에 對한 collector 전류변화 즉 forward current gain factor β는 β=15임을 알 수 있다.

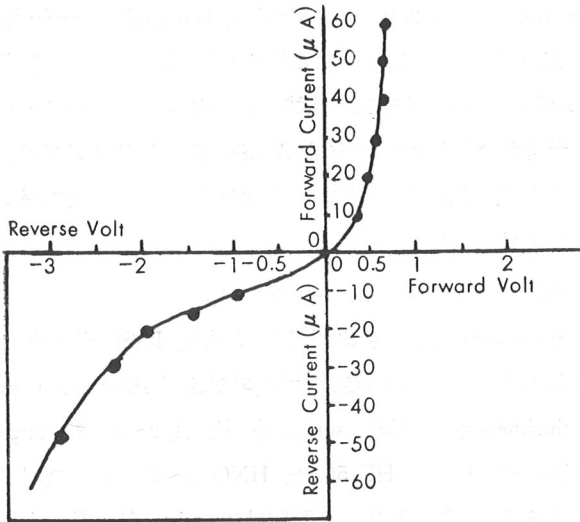
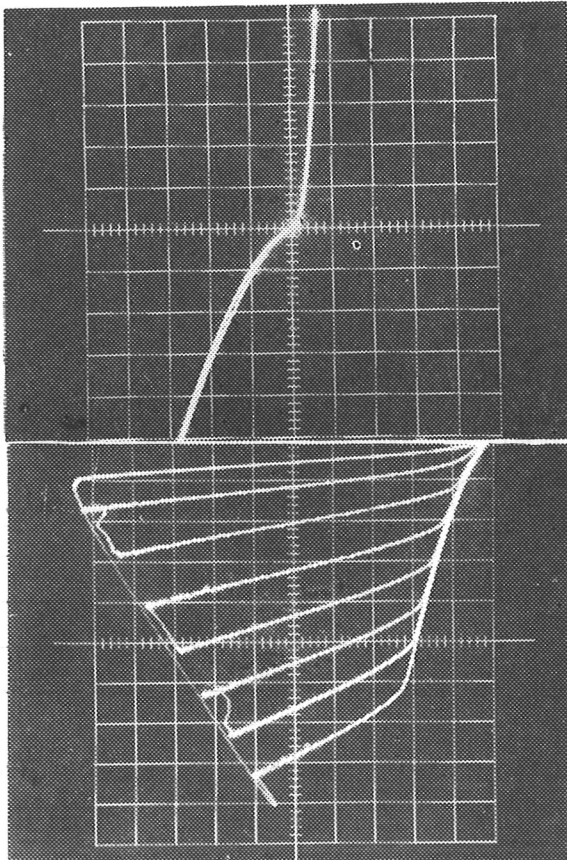


Fig. 2. Diode의 특성 곡선

아래 사진은 Transistor Curve Tracer로 測定된 사진이다.



중축 : (0.01mA/cm)
 횡축 : (1volt/cm)

Fig. 3. Diode의 Electric Characteristics

중축 : Ic(1cm當 1mA)
 횡축 : Vce(1cm當 1volt)
 Base Step : 0.05mA

Fig. 4. Base를 入力端子로 取하고 Emitter를 어스 端子로 取할 때 Collector의 특성곡선

(c) Calculation of alpha cut-off frequency

Transistor의 performance를 특성 짓는 parameter 가운데 가장 중요한 것의 하나는 alpha cut-off frequency $f\alpha$ 이다. 이 $f\alpha$ 는

$$f\alpha = \frac{\omega\alpha}{2\pi} = \frac{D}{\pi\omega_1^2}$$

로 주어진다.

이 식에서 室温에서의 Germanium에서 hole의 확산 계수 $D_p=44\text{cm}^2/\text{sec}$ 와 depletion layer를 포함하지 않은 collector to emitter thickness $\omega_1=3.0\times 10^{-3}\text{cm}$ 를 代入하면 $f\alpha=1.55\times 10^6\text{Hz}=1.55\text{MHz}$ 로 된다.

IV. Conclusions

Alloy diffused method에 依해서 Germanium p-n-p transistor를 제작하였다. 그 결과 $\beta=15$ 이고 alpha cut-off frequency 1.55MHz 정도의 電氣의 特性을 얻었다. 앞에서 記述한 Technique을 좀더 Refinement함으로써 $f\alpha=10\text{MHz}$ 以上の 값을 얻는 것은 용이할 것이다.

이 Transistor는 高價인 Furnace나 裝置 등을 쓰지 않고도 상당히 좋은 結果를 期待할 수 있다.

V. Acknowledgement

本研究를 위하여 학술 연구 조성비를 지급하여 주신 문교부에 謝意를 表하며 測定器具 및 諸般의 便宜를 제공하여 주신 科學技術研究所의 半導體室 材料實驗室 및 固體物理室 등에 감사를 表한다.

VI. Summary

Germanium p-n-p transistors have been made, in which the emitter and the base regions were produced by alloy diffusion method. Transistors with base layers $(1.6\pm 0.3)\times 10^{-3}\text{cm}$ thick have been made.

As starting material for a p-n-p structure, p-type Germanium of $0.8\Omega\text{cm}$ resistivity was used, and as a source of diffusion impurity, In-Sb alloy including three percents of Sb was used.

The electrical characteristics of a transistor with a maximum β of 15 and alpha cut-off frequency of 1.55 MHz are presented.

Refinements of the described techniques will be made possible to produce germanium transistor with alpha cut-off frequency above 10MHz.

References

1. F. J. Biondi, Transistor Technology Vol. III, 1958, D. Van Nostrand Company, pp. 287~305.
2. L. B. Valdes, Resistivity measurements on germanium for transistors, Proc. IRE, 1954, pp: 420~427.
3. Edmund S. Rittner, Extension of the theory of the junction transistor, Phys. Rev. 94, 1954, pp. 1161~1171.
4. John S. Saby, W. C. Dunlap, Jr., Impurity diffusion and space charge layers in "Fused-impurity" p-n junction, Phys. Rev. 90, 1953, pp. 630~632.
5. F. J. Biondi, Transistor Technology Vol. III, 1958, D. Van Nostrand Company, pp. 64~85.
6. F. J. Biondi, Transistor Technology Vol. II, 1958, D. Van Nostrand Company, pp. 295~325.
7. 物性編集委員會編, 半導體の基礎技術, 1967, 横書店, pp. 98~130.