

Formation and Hall properties of InSb thin films.

Yoshio Sakai, Masahide Oshita

(Excerpt from the boxes and translated into English)

166

電気学会雑誌

UDC 537.311.33: 538.632: 546.861.682

InSb 薄膜の生成とホール特性*

正員 酒井善雄† 正員 大下正秀†

資料・論文
35-17

1. 緒言

2種の金属の化合物が、半導体として、すぐれた特性をあらわすことが注目されている。これら金属間化合物は現在、電子部品用材料として代表的な Ge, Si などとくらべて異なった特性を備えている。すなわち、そのあるものは熱電効果、光電効果、磁界による効果などが著しいので、それらの性能を生かした各種用途が開発され始めた。これらの中でも、特に3価金属である In と5価金属である Sb との化合物の InSb はつとに研究されている。それは製法が比較的容易であり、しかもその顕著な特徴は、第1表にみるように内部における電子の移動度が、現在発見されている材料中最大であり、そのことを利用する使途が工学上意義深いからである。

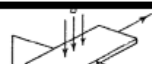
第1表 室温における各種半導体の特性値

	固有抵抗 ρ ($\Omega\cdot\text{cm}$)	ホール定数 ⁽¹⁾ R (cm^2/C)	電子移動度 μ_n ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	ホール移動度 μ_H ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
Ge	47	-3.5×10^4	3,600	1,800
Si	63,600	-10^4	1,400	350
InSb	0.007	-6×10^5	63,000	700
InAs	0.25	-9×10^4	30,000	200

電子の移動度が大きいことは、その運動中に磁界を加えられたときの効果、つまりホール効果や、磁気抵抗効果が著しいことと結びついている。これらの諸効果は、各種測定、制御、計算、発振、増幅などの用に供されている。すなわち、

一般に第1図に示すような

寸法の半導体素子に電流 I



ホール定数

R は一般に下式で与えられる。

$$R = -\frac{3\pi}{8e} \frac{n_e \mu_n^2 - n_h \mu_h^2}{(n_e \mu_n + n_h \mu_h)^3} \times 10^{-8} (\text{V}\cdot\text{cm}/\text{A}\cdot\text{G}) \quad (2)$$

n_e, n_h : それぞれ電子および正孔の濃度, μ_e, μ_h : それらの移動度

さて、これらの材料を用いて電気素子を作る場合には、発電効率(入力に対する出力比)を大きくする条件は、素子の寸法に無関係で電子移動度の大きい材料を用いることである。ところで、ホール発電素子が実際に用いられる場合、しばしば発電効率より、むしろ取り出される電圧値が高いことが望まれる。そこでそのような使い途に対して、発電素子としてどのような形状、あるいは材料が適当であるかを以下のように吟味してみる。

素子への入力を W とすれば、

$$W = I^2 R_{in} \approx I^2 \frac{l}{bdne\mu} \quad (3)$$

これを(1)式と組み合わせると

$$E \approx \frac{3\pi}{8} B \sqrt{\frac{Wb}{edl}} \sqrt{\frac{\mu}{n}} f(l/b) \quad (4)$$

素子へ通じる電流は、その温度上昇を一定値以内におさめる条件から制約されるが、一般に熱平衡を考慮するに、放熱は表面だけから行われるとすれば、

$W \propto bcl$ であるから

$$E \propto \frac{3\pi}{8} B \frac{b}{\sqrt{A}} \sqrt{\frac{\mu}{n}} f(l/b) \quad (5)$$

1. Introduction

It has attracted attention that two types of gold bending compounds exhibit excellent properties as semiconductors. These metal-flexing compounds have different properties compared to Ge and Si, which are currently representative materials for electronic components. In other words, some of them have significant thermoelectric effects, photoelectric effects, and magnetic field effects, so various applications that take advantage of these properties have begun to be developed. Among these, InSb, a compound of trivalent metal resistance, and Sb, a pentavalent metal, have been studied for a long time. It is relatively easy to manufacture, and its outstanding feature is that as shown in Table1, the internal electron mobility is the largest among the materials currently discovered, and its use

is of great engineering significance.

The large mobility of electrons is associated with the effect of applying a magnetic field during their motion, that is, the Hall effect and the magnetoresistance effect. These effects are used for various measurements, controls, calculations, transmissions, and increased radiation.

Table 1: Characteristic values of various semiconductors in room humidity

	Inherent Resistance ρ (Ωcm)	Hall coefficient $R(\text{cm}^3/\text{C})$	Electron mobility $\mu_n(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$	Hall Mobility $\mu_h(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$
Ge	47	-3.5×10^4	3,600	1,800
Si	63,600	-10^8	1,400	350
InSb	0.007	-6×10^2	63,000	700
InAs	0.25	-9×10^4	30,000	200

ほぼ完全な InSb であるが、わずかに In が共存している模様もうかがえる。これは、蒸発させる場合の In, Sb の蒸気圧の相違に基づくものと考えられる。

なおこれらの膜の厚さを測るには、次の三つの方法が用いられた。

(1) 下式のように蒸発物の分量から、Strong の式によって計算する方法。⁽⁹⁾

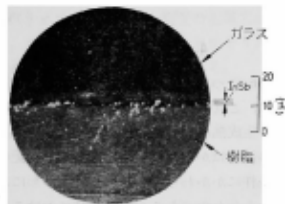
$$d = k \frac{W}{4\pi pr^2} \quad (\text{cm})$$

上式において、 d : 蒸着層の厚さ (cm), r : 蒸発中心と被蒸着物との距離 (cm), W : 蒸発金属量 (g), p : 蒸発金属の密度 (g/cm³), k : 蒸発源の形状による補正係数 (蒸発源より球状に蒸発する場合を $k=1$ とする)

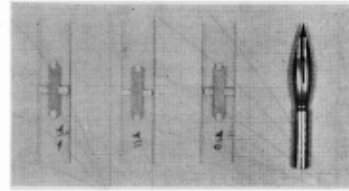
(2) Mass thickness で蒸着の前後における重量の増加と、InSb の比重 (5.72) から計算する方法。

(3) 第 8 図のように、膜の断面の顕微鏡写真を撮り、標準目盛と比較する方法。

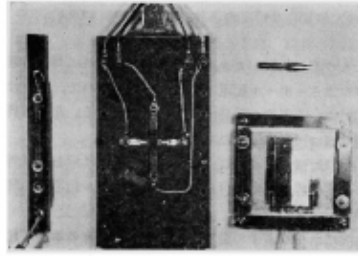
われわれはこの三つの方法を比較してみたが、実際の測定には比較的良好一致する (2) および (3) の方法を併用している。



第 8 図



(a) 試料



(b) 測定用器具

第 2 表 基板の種類と諸定数
(予備加熱温度 240°C, 膜厚 3~5μ のもの)

基板	定数	σ (Ω ⁻¹ cm ⁻¹)	R (cm ² /V)	ρ (cm ² /V·s)
ガラス	# 600	53.0	-13.0	700
	# 1,200	34.4	-22.1	-
	# 2,000	43.3	-38.6	1.673
平均		54.5	-27.2	4.940

した場合について膜の重要な諸特性を一括して第 2 表に掲げた。

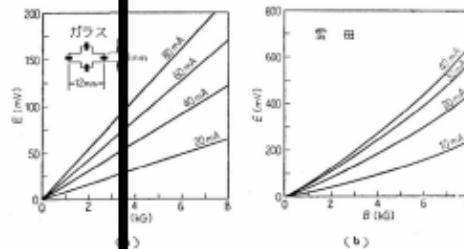
3. 蒸着膜の諸特性

前章で述べた方法で作った膜について、その半導体的性質、特に磁界の下における諸効果を中心に調べてみた。試料としてはガラスまたは雲母板上に真空蒸着したものについて、第 9 図のように四つの端子を取り出して、それぞれ向かい合った 1 組ずつを制御電流端子およびホール起電力端子とした。

先に述べたように、膜の特性は基板の種類、温度に影響されるもので、第 5 図では温度の影響について記したが、次に温度その他の製作条件を一定とし、基板としてガラスを用いてその表面の研磨条件を変化した場合ならびに雲母を基板と

次に、このように経験的に求められた最適条件で作った試料について、各種の特性を測定した結果を一括して第 10 図～第 13 図に掲げた。

第 10 図 (a) および (b) は、同一条件の下で作成され



第 10 図

3. Characteristics of the deposition film

Regarding the membrane made by the method described in the previous chapter, we focused on its semiconductor properties, especially its effects under the magnetic field. As for the samples, four terminals were taken out as shown in Fig. 9, and one pair facing each other was used as a control current terminal and a Hall electromotive force terminal.

As mentioned earlier, the characteristics of the film are affected by the type of substrate and temperature, and the effect of temperature is described in Fig.5, but then the important characteristics of the membrane are listed in Table 2 for the case where the temperature and other fabrication conditions are constant, and the abrasive conditions of the surface are changed using glass as a substrate and the surface abrasive conditions are changed.

Table 2: Types of boards and their constants

(Preheating temperature 240°C, film thickness 3-5 μ m)

constant substrate	σ ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)	R(cm^3/C)	μ ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)
# 800	53.0	-13.0	700
Glass #1,200	34.4	-22.1	700
#2,000	43.4	-38.6	1,673
Mica	54.5	-87.2	4,840

ただしこの表で ΔE は、室温付近における σ の変化から計算した活性化エネルギーである。

この表で見るように InSb の特徴である μ の値はこの方法で作られたものにおいては、 $\mu \approx 4,840 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ で、結晶で得られる値にくらべると 1 けた小さいが、なお、Ge, Si などのそれにくらべると大きく、かねて報告されている膜における値⁽⁴⁾とくらべてずっと大きい。

ここで問題は、われわれが用いた InSb は、成分、製法などの点でかなり不完全なものであり、純度においても理想から隔たっている。したがって、これを真空蒸着させて作った膜について測った特性の相違が単結晶であるか否かの差異だけに基づくとして吟味することは、さして意味をもつものであるまい。要は作られた InSb 膜が電気素子としてどれだけ実用性を有するかを検討することにある。そしてその結果によれば、膜であるということの特徴を生かすような使い方をすれば、ある種の目的にはむしろ有利と思われる。すなわち結晶から作られた素子では、内部インピーダンスが数オーム以下であるのに比較して、薄膜の場合は、その値を数十オームあるいはそれ以上に高めうるので、制御電流を数ミリアンペア～数十ミリアンペアで動作させて、しかも同一程度の起電力が取り出されうる。また薄膜であるため、それをそう入すべきギャップの幅が狭くて足る利点がある。

5. 結 言

以上、加熱蒸着法によって作った InSb 薄膜について述べてきたが、これで作られるホール発電素子を単結晶のものにくらべると、制御電流が小さい点、周囲温度によるホール起電力の変北が少ない点、磁界に対するホール起電力の直線性が比較的よい点、形状を任意にでき、厚さもひじょうに薄いので狭い部分に使用しうる点、原料として純度の高い単結晶を用いることなくして相当大きなホール起電力を取り出しうる点など、なかなかすぐれた諸特性を持ち、充分実用に供しうることを認めた。そして今後さらに、原料の純化、蒸着法の改善などによって一層特性の向上が期待されるものと思う。

最後に本研究に関してご指導いただいた本学斎藤教授、ならびに実験にご協力下さった卒業生、岩崎保氏、本学 X 線分析室の加藤氏に深謝する。(昭和 34 年 8 月 3 日受付、同 11 月 5 日再受付)

文 献

- (1) Erich Schwaibold: Arch. tech. Messen Lief. 246, 153 (1956)
- (2) Frederick Seitz and David Turnbull: Solid State Physics 5, 20 (1957)
- (3) 斎藤・酒井・坪山・河村: 昭 30 進大 188
- (4) G. A. Kurov and Z. G. Pinsker: Soviet Physics Technical Physics 3, No. 1, 26 (1958)
- (5) 岩瀬・岡本: 二元合金の標準状態図 (1953)
- (6) J. Strong: Procedures in Experimental Physics, p. 177 (1938)
- (7) Siemens Z. Heft 8, 371 (1954-9)