

InSb 磁束計의 製作과 그 特性에 關한 研究

Fabrication and Characteristic of an InSb Magnetic Fluxmeter

尹 在 剛* · 柳 龍 澤**

(Yoon, Jai-Gang and Yoo, Yong-Tek)

要 約

Hall效果의 利用으로, 磁界의 세기 또는 磁束을 計測할 수 있는 磁束計의 製造 및 特性調査를 試圖하였다. Hall係數가 큰 InSb의 單結晶을 Bridgeman法에 依하여 製作하고, 磁場內에서 磁界의 세기와 起電力 또는 電流를 計測한 結果, 滿足할만한 感度와 直線的인 特性曲線을 얻었으며, 類似한 研究結果와 比較할때, 좋은 結果임을 알게 되었다.

Abstract

An InSb magnetic fluxmeter was made of InSb Single Crystal that was grown by Bridgemanmethod⁸ and then purified by vapor zone refining method. We investigated some properties of the InSb magnetic fluxmeter. It was found that the resistivity and the Hall Coefficient of this single Crystal Were $4.4 \times 10^{-2} \Omega$ and $4.5 \text{cm}^3/\text{Coul}$, respectively, at room temperature. The Characteristic Curve of the InSb magnetic fluxmeter between the magnetic field the Hall voltage, with the Current flowing through the element a parameter, had good lineanty i.e., We obtained a linear Calibration Curve of the fluxmeter. The fluxmeter erved the purpose well enough up to 5 k-gaus.

1. 緒 論

半導體의 物性研究에 있어서 Hall係數를 測定함으로써 Carrier密度와 그 種類를 알 수 있으며 또한 溫度依存特性으로부터 禁止帶域幅과 不純物의 Energy準位를 定할 수 있다. 따라서 金屬間化合物의 出現과 더불어 Hall效果의 應用研究는 廣範圍하게 研究되어 왔다^{1),2),3)}. III-V族의 金屬間化合物인 InSb半導體는 特히 큰 Hall係數와 큰 電子移動도를 지고 있으므로 磁束計의 製作에 利用되고 있다. 勿論 이 밖에도 適當한 크기와 安定한 Hall係數를 갖는 物質이면 磁束計로 쓰일

可能性이 있겠으나 磁束計의 試料로 使用되기 위해서는 一般的으로 다음과 같은 여러 性質을 갖추고 있어야 할 必要가 있다. (1) Hall係數가 클 것. (2) 溫度係數가 작을 것. (3) 電氣抵抗이 작을 것. (4) 小形加工에 充分한 強度를 가지고 있을 것. (5) 端子의 接合이 容易하게 이루어질 수 있을 것등이다. InSb는 以上 條件을 充足시킬 수 있으며 Hall電流를 이끌어 내기가 容易하며 端子의 接合이 比較的 簡單하기 때문에 磁束計를 만드는 데 많은 利點이 있다.

本研究에서는 Bridgeman法으로 InSb의 單結晶을 製作하여 그 特性을 磁場內에서 測定하고 이를 磁束計로서 應用할 수 있는가를 檢討하였다.

2. 磁束計의 原理

Fig-1과 같은 矩形板狀 半導體를 電流의 方向과 垂

*正會員: 東國大學校 工科大學
College of Engineering, Dongkuk University
**正會員: 全南大學校 工科大學
College of Engineering, Channam University.
接受日字: 1925年 12月 31日

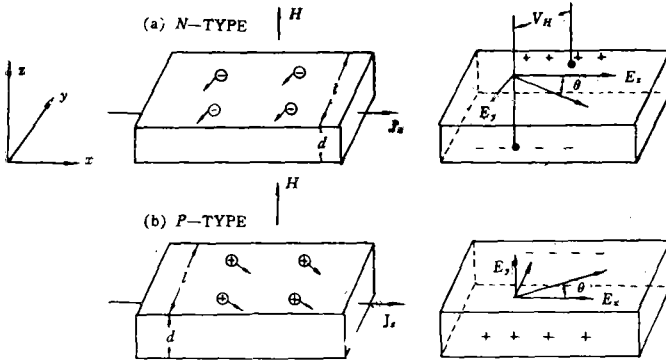


그림 1. 半導體內의 Hall 효과
Fig-1. Hall effect in a Semiconductor

直한 方向의 磁界內에 놓으면 電流과 磁界가 만드는 平面에 垂直한 方向으로 Hall電壓이 생긴다. Fig-1(b)의 P-Type에 있어서 電流密度 J_x 가 흐르고 있을 때 電界 E_x 에 의하여 \oplus 電荷의 Carrier는 X方向에 V_x 의 速度로 흐른다. 磁束密度 $B = \mu H$ 인 磁界가 X方向으로 作用할 때 Carrier는 V_x 와 H에 垂直하게 Lorentz의 힘이 $\ominus y$ 軸方向으로 미치게 된다. 따라서 $\oplus y$ 軸先端部附近에 正孔이 不足하게 되고 後端部附近에 正孔이 많이 생기게 되어 軸上에는 電界 E_y 가 생긴다. y方向에서 平衡을 維持하려면 Lorentz의 힘과 E_y 에 의한 eE_y 가 같아야 된다.

$$eV_x H = eE_y$$

$eV_x H$; Lorentz force
 E_y ; Hall electric field

$$J_x = P e V_x$$

J_x ; 電流密度
 P ; Hall密度

①, ②에서 V_x 을 消去하면

$$R_H = \frac{E_y}{H J_x} = \frac{1}{ep} \text{ (cm}^3/\text{Coul)} \quad ③$$

R_H ; Hall係數

J_x 는 全電流 i 와 斷面積 l, d 에서 $J_x = i/ld$ 가 求해 지고 E_y 는 y軸先端과 後端間 (側面)의 誘起電壓(Hall Voltage) V_H 를 測定하면 $E_y = V_H/l$ 로 計算된다.

$$V_H = \frac{iH}{ePd} \quad ④$$

여기서 R_H 는 V_H 를 測定하면 求해지고 Carrier濃度 P 가 計算된다. $B = \mu H$ 를 Gauss, i 를 Ampere, d 를 cm, V_H 를 Volt로 表示하면 다음 式이 된다.

$$V_H = \frac{R_H H i}{d} \times 10^{-8} \quad ⑤$$

N-Type인 경우에도 ③式과 같은 모양으로 表現되므

로

$$R_H = \frac{E_y}{H J_x} = -\frac{1}{en} \text{ (cm}^3/\text{Coul)} \quad ⑥$$

⑤式은 磁束計의 原理에 그대로 利用되며 半導體素子로 만든 Probe에 一定 電流 i 를 흘려주고 이것을 磁場가운데 놓으면 磁場의 세기에 比例한 Hall電壓이 發生하므로 이를 測定함으로써 磁場의 세기를 測定할 수 있다.

3. 試料製作 및 特性調査

3-1 結晶製作

一般的으로 半導體의 Hall係數는 不純物濃度에 逆比例하므로 純度を 높일수록 Hall係數는 增加한다. 따라서 磁束計의 probe에 使用되는 InSb는 可能한 限 精製하여 純度を 높여야만 한다.

여기에서 使用한 InSb精製法은 三井金屬鑛業의 純度 Five-nine In과 Sb素材를 化學量論의으로 50/50 原子%가 되게 micro-balance로 秤量한 다음 Fig-2의 電氣爐 陶器製 pot中에서 溶解反應시킨다.

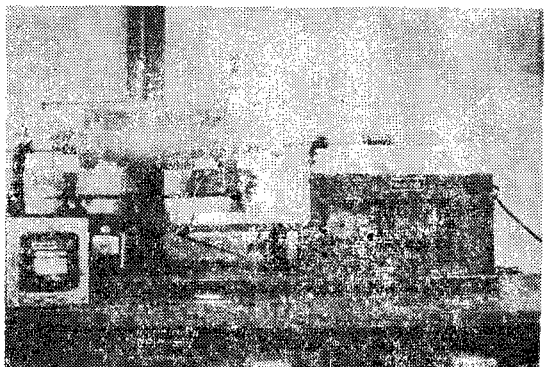
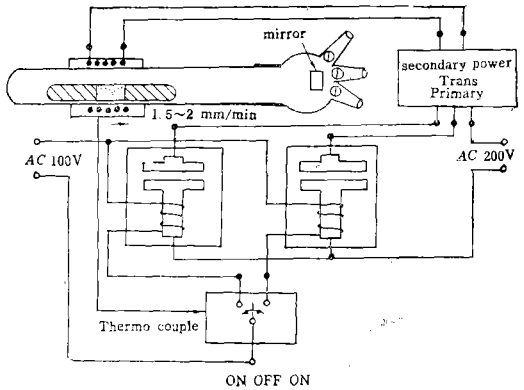


그림 2. InSb結晶用電氣爐
Fig-2 electric furnace for single crystal InSb growth

이 때 爐內에 Ar-Gas를 約 1/3 Atm 雰圍氣로 하여 만든 結晶의 實物이 Fig.3과 같다. 反應途中에 石英管 속의 mirror로 電氣爐속을 觀察할 수 있으며 溶解反應이 끝나면 室溫까지 徐冷시키고 再次까지 $10^{-5} \sim$



그림 3. InSb結晶의 寫眞
Fig-3 Photograph of Znsb Single Crystal

10^{-6} Torr.까지 眞空시킨 다음 約 1/3 Atm Ar-Gas 雰圍氣下에서 Vapor Zone refining 法으로 精製한 것이다. 이 때 電氣爐 移動度を 1.5~2mm/min로 하였다. 이와같이 帶熔融法으로 精製한 InSb ingot는 位置에 따라 純도가 다르지만 여기서 試料로서는 電氣抵抗 約 $4.4 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$, Hall係數 約 405cm³/Coul(室溫)을 使用하였다.

3-2 Probe製作

InSb ingot를 軟質유리管속에 넣고 Wax를 녹여 부어서 固定시키고 diamond Cut (plate No-100程度)에서 아주 천천히 물러가며(1mm/min) 切斷한 다음 Emery paper에서 必要한 치수 가까이 研磨한 다음 細密한 다듬질을 하기 위하여 유리 板上에 wax로 附着시키고 平板wax板上에 가는 출판(Gaze자욱)을 만들어 研磨材 Alumina (Al₂O₃)와 蒸溜水를 써서 研磨한다. 이때 Alumina를 1.0μ, 0.6μ, 0.03μ 粒度順으로 研磨하면 鏡面과 같이 된다. Probe의 縱橫比를 1:3乃至 1:4로 하는 것이 좋다⁽⁵⁾. 다음에 Wax

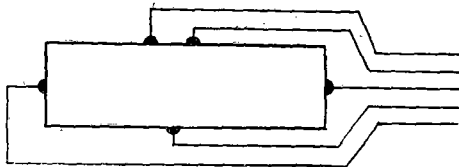


그림 4. Probe의 紛線圖
Fig-4 Feature of leadwires in probe unit

그 밖의 不純物을 除去하기 위하여 70°C程度의 CCl₄ 溶液에서 洗滌한 다음 Fig-4와 같은 0.2mmφ 銅線電極을 In 膜질로 接合시킨다. 이것을 合成樹脂接着劑로 塗布固定시켜 Al管속에 封入하면 Probe가 完成된다.

3.3 實驗 및 應用

磁束計의 回路接續은 Fig-5와 같으며 Fig-6은 外觀寫眞이다. Probe에 흐르는 電流*i*는 可變抵抗器에 의하여 變化시킬 수 있으며 測定範圍를 이에 따라 調節

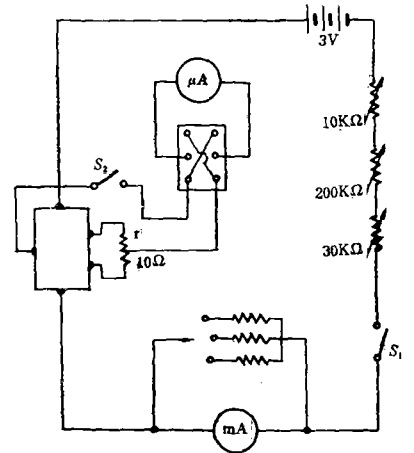


그림 5. 磁束計의 結線圖,
Fig-5. electric circuit of fluxmeter

시킬 수 있도록 되어 있다. *i*는 測定中 언제나 一定한 값을 維持하도록 電流計로 檢査하면 된다. Probe의 Hall電流測定用導線은 두 출로 接合되어 있는 데 이것은 2點間에 反對側 Hall端子를 사이에 끼우고 있는 것 같이 接合시킴으로써 Hall端子間의 不平衡電壓補償法을 써서 電位差가 零이 되도록 調節을 簡便하게 하기

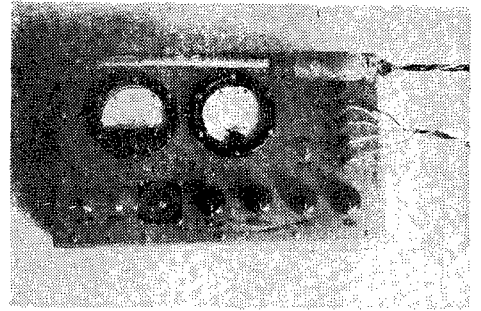


그림 6. 磁束計의 實物
Fig-6. Photograph of fluxmeter

위한 것이다. 따라서 可變抵抗器는 이러한 目的下에 쓰여지고 있다. 이 磁束計의 校正曲線은 Fig-7과 같다. 여기에서 電磁石이 만든 磁場의 세기와 誘起起電力과의 關係를 InSb素子에 흘려주는 *i*를 Parameter로 하여 測定하였다. 즉 誘起起電力을 直接 micro Ammeter에 加하여 meter에 흐르는 電流를 가지고 表示하였다. *i*의 增加에 따른 Hall電流의 比例關係로부터 磁場의 세기 *H*값을 읽을 수 있도록 되어 있다. (Fig-7). *i*를 過大하게 增加시키면 Joule熱로 인하여 素子에 溫度變化를 일으켜 Hall係數가 變하여 誤差가 發生할 念慮가

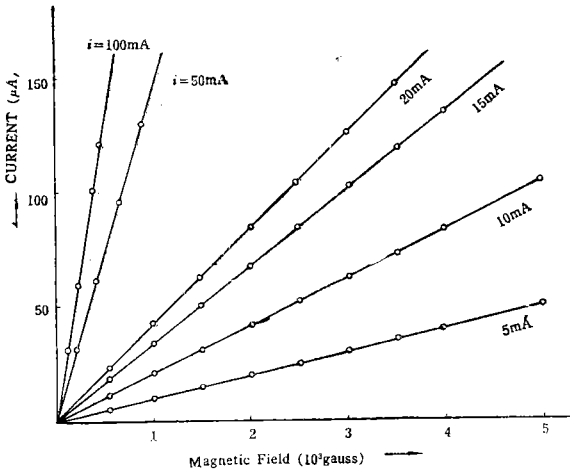


그림 7. 磁束計의 校正曲線
Fig-7. Calibration curve of fluxmeter

있으므로 過大電流는 避하여야 한다. 이 Probe에 흘러주는 i 는 最高 約 200mA까지이다. 磁束計는 여러가지 用途에 使用되지만 特히 작은 空間의 磁場사이

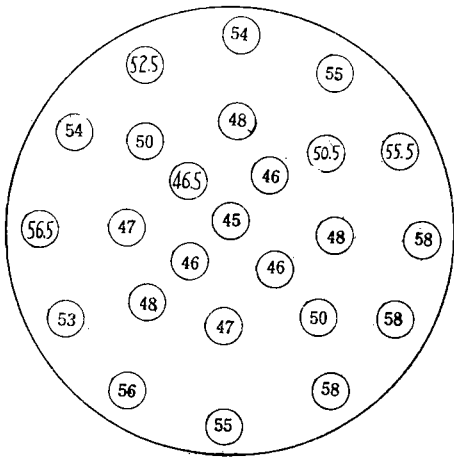


그림 8. 尖端의 磁束分布
Fig-8. Distribution of magnetic flux on the endplane

插入하여 測定할 수 있으며 局部的인 磁場의 세기를 測定하는 데 더욱 便利하다. Fig-8은 校正을 본 磁束計를 가지고 直徑 3cm의 電磁石의 磁極에 方眼紙를 붙여 놓고 各點에 있어서의 磁束分布測定結果를 表示한 것이다. 圖面上에 記錄된 數字는 $i=100mA$ 를 흘려 주었을 때 測定하여 얻어진 Hall電流값이다. 따라서 Fig-7의 校正曲線으로부터 圖示된 數字에 該當한 磁場의 세기를 읽을 수 있다.

4. 結 論

純度 Five-nine의 In과 Sb素材를 化學量論的으로 50/50原子%로 만든 結晶을 Vapor Zone Refining法으로 精製한 ingot는 室溫에서 Hall係數 $405cm^3/Coul$ 을 가졌으며 電氣比抵抗이 $4.4 \times 10^{-\Omega \cdot cm}$ 이었다. 이 試料를 使用하여 磁場의 세기와 誘起起電力과의 關係를 調査한 結果 素子에 흘러주는 電流 i 를 Parameter로 한 特性曲線은 良好한 直線性을 가지고 있으며 5K Gauss 範圍에서 測定이 可能하며 다른 簡單한 檢査에 도움이 될 것이고 最近에 外國에서 開發된 類似한 計器에 損色이 없다.

參 考 文 獻

1. 片岡熙榮; Hall效果와 最近의 應用 電氣計算 10, 235 (1960)
2. 成田賢仁; 計測用半導體磁氣裝置 計測 6, 34 (1960)
3. C. Hilsum; Galvanomagnetic Effect and Their Applications, Brit. J. Appl Phys. 12, 85 (1961)
4. L. Weisberg & F.D. Rosi; Rev Sci Instr 31, 206 (1960)
5. 今村舜仁; 半導體物性測定法 日刊工業新聞社 112 (1965)
6. 片岡熙榮; 磁電變換素子 日刊工業新聞社 46 (1965)