

6-2 “ピエゾ・ホール電圧効果”によるシリコン感圧素子

松下電子研究所*, 阪大理学部**

宮井幸男*, 津田直行*,
川村 肇**

I. 緒言

一般に伝導帯で多谷構造を持つ半導体結晶に、一軸性応力を加えると、その方向、または直角方向の抵抗が変化する。この時、一軸性応力を変形ポテンシャルの主軸に対して傾いた方向に加えると、電気伝導度テンソルに非対角成分が現われるはずである。このようなことから我々は通常の磁気ホール効果素子における磁場の代わりに、ストレスによる一種のホール効果(これをピエゾホール効果と呼ぶ)を用いた素子の可能性を見い出した。ここでこの原理の紹介と実験結果を報告する。

II. 原理

シリコンにおいて伝導帯の谷は $\langle 100 \rangle, \langle 010 \rangle, \langle 001 \rangle$ 軸方向にある。そこで、図1. のように座標系をとり、結晶軸に対して任意の方向に一軸性ストレス F を加えると各バンドのエネルギーが相対的にずれる。このエネルギーのずれによって各バンドのキャリアの数が変化し、電気伝導度テンソルに非対角成分が現われる。ストレスの方向を図1. のように θ 方向にとりこれに垂直な方向を ξ とすると、電流の ξ 成分は

$$\left. \begin{aligned} J_{\xi} &= \sigma_{11} E_{\xi} + \sigma_{12} E_{\eta} \\ J_{\eta} &= \sigma_{21} E_{\xi} + \sigma_{22} E_{\eta} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

となる。ここでストレスの方向、即ち、 η 方向に電流を流すと ξ 方向に電界

$$E_{\eta} = -\frac{\sigma_{12}}{\sigma_{22}} E_{\xi} \quad (2)$$

が現われる。この電界 E_{η} に試料の幅をかけた電圧を“ピエゾホール電圧” V_{PH} と呼ぶ。そして“ピエゾホール角” θ を E_{η}/E_{ξ} と定義すると

$$\begin{aligned} \theta &\equiv E_{\eta}/E_{\xi} = -\frac{\sigma_{12}}{\sigma_{22}} \\ &= \frac{\sigma_{12} F S^*}{\sigma_{22} T} \cdot \frac{1-k}{4(1+2k)} \cdot \sin 4\theta \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、 $\sigma_{12} = 8.5 \text{ eV}$ (pure shear deformation potential constant)

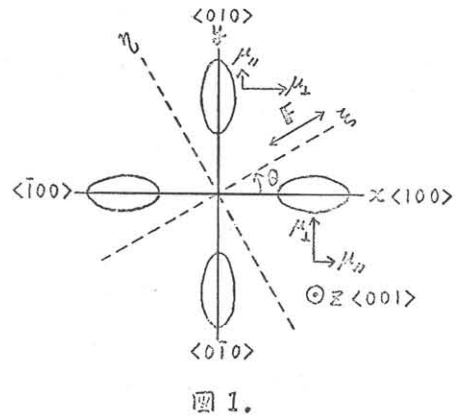


図1.

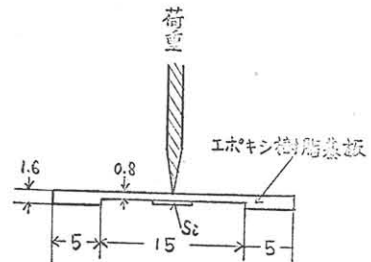
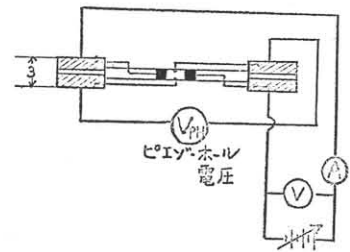
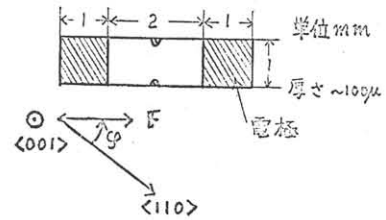


図2.

$$S^* = S_{11} - S_{12} = 0.98 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{dyne} \text{ (コンプライアンス)}$$

$$k = \frac{\mu_x}{\mu_y} = 5 \text{ (}\mu_x, \mu_y \text{ は各々の谷における電子の横と縦の易動度)}$$

となることがわかる。この式より次のことがわかる。

(A) $\theta = 0, 45^\circ$ においては、 $\Theta = 0$ となる。すなわちピエゾホール電圧が生じない。

(B) $\theta = 22.5^\circ$ で Θ の絶対値が最大になる。この時の Θ は次のようになる。

$$|\Theta| = 2.9 \times 10^{-11} \text{ F/cm}^2/\text{dyne} \quad (4)$$

Ⅲ. 実験

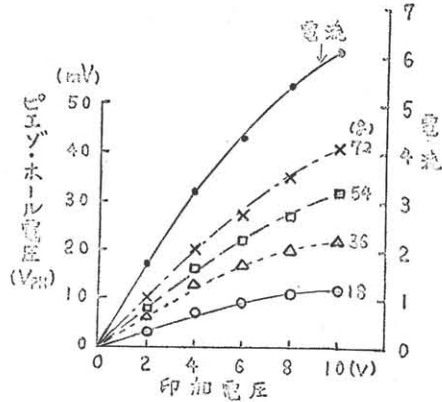
約 $7\Omega\text{-cm}$ の n 型 S_{12} の (001) 面のスライスから長辺が $\langle 110 \rangle$ と角度 φ をなすような、たんぐ状の試料を切り出した (図 2(a))。これを樹脂基板に接着し、図 2(c) のように加圧した。そして測定回路と基板の形状を図 2(b) に示す。用いたエポキシ樹脂のヤング率は測定の結果 $6.4 \times 10^{10} \text{ (dyne/cm}^2)$ であった。

測定結果の一例を図 3(a) に示す。これは荷重をパラメータにしており、 $\varphi = 22.5^\circ$ に切り出した試料である。横軸は印加電圧であり、左の縦軸はピエゾホール電圧である。右の縦軸は印加電圧方向の電流を示している。

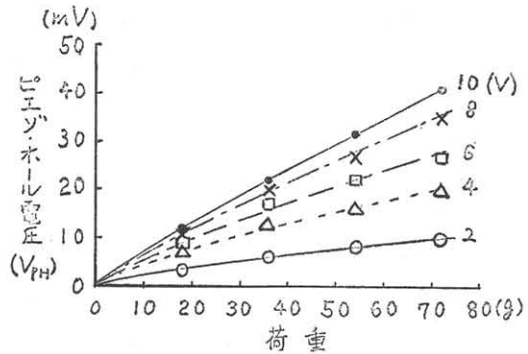
図 3(b) は図 3(a) を書きかえたもので印加電圧をパラメータにし、横軸に荷重をとった。角度 φ を変えた結果を図 4 に示す。これは印加電圧 10 volt の場合で横軸は角度 φ 、縦軸は $\frac{1}{F} \cdot \frac{V_{PH}}{V}$ である。これより $\varphi = 0^\circ, 45^\circ$ で V_{PH} が 0 になり、 22.5° で最大値をとるという理論計算とよく一致していることがわかる。

この素子の特長は (2)(3)(4) 式と図 3(b) よりあきらかのようにピエゾホール電圧 (出力電圧) が加圧力に比例していることである。このことにより、他の素子で見られるように、出力に入力のバイアスが現れたり、ある加圧力以下で急激に出力が減少してしまうということはない。更に、ストレスの符号の正負 (圧縮力又は張力) に応じて、それぞれ正又は負の出力電圧が得られる。

試料 No.38 $\varphi = 22.5^\circ$



(a).



(b)

図 3.

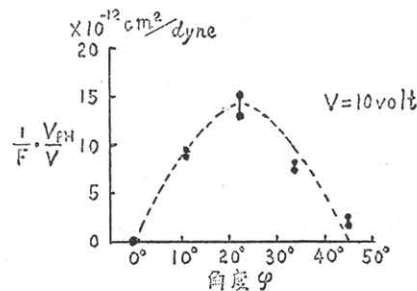


図 4.