

p 型 Ge の異常ピエゾ抵抗係数

Abnormal Piezoresistance Coefficient of p-Type Germanium

徳文大<sup>1</sup>, 東工大<sup>2</sup>, 香川高専<sup>3</sup>    ○松田和典<sup>1</sup>, 筒井一生<sup>2</sup>, 山本雅史<sup>3</sup>, 長岡史郎<sup>3</sup>, 梶山博司<sup>1</sup>

Oubutsu Univ.<sup>1</sup>, Tokyo Inst. Tech.<sup>2</sup>, NIT Kagawa<sup>3</sup>, ○Kazunori Matsuda<sup>1</sup>, Kazuo Tsutsui<sup>2</sup>,

Masashi Yamamoto<sup>3</sup>, Shiro Nagaokai<sup>3</sup>, Hiroshi Kajiyma<sup>1</sup>

E-mail: kmatsuda@fst.burni-u.ac.jp

ベル研究所の Smith が 60 年ほど前に調べた p 型 Ge のピエゾ抵抗係数は  $\langle 100 \rangle$  方向の値が負になっており説明ができない問題である [1]. 変形ポテンシャルを使ったモデルでは, 引張歪に対して重いホールバンドが軽いホールバンドよりエネルギーが低くなるために重いホールの密度が増加して, 抵抗が大きくなる. Si ではこのモデルによる計算が実験とよく一致している [3]. しかし, Ge では大きさはかりか符号さえ異なる [2]. 本研究では, p 型 Ge のピエゾ抵抗係数を詳しく調べることを目的としている. 今回の報告では, p 型 Ge の実験結果を示すとともにドナー不純物の影響について述べる.

試料はノンドープ Ge ( $55.9\text{--}58.8\Omega\cdot\text{cm}$ ,  $d\ 300\mu\text{m}$ ) または p 型 Ge (数  $\Omega\cdot\text{cm}$ ,  $d\ 300\mu\text{m}$ ) に Al 電極 (電極間隔  $2.4\text{mm}$ ) を応力負荷方向に対して平行または垂直に作製した. 試料への応力は 4 点曲げ装置によって,  $\langle 110 \rangle$  方向または  $\langle 100 \rangle$  方向に引張歪および圧縮歪それぞれ  $500\text{ppm}$  まで負荷した [4]. このときに結晶に負荷される歪は市販の歪ゲージでモニタしている. 結晶歪によって生じる Ge の抵抗変化を温度コントロール ( $25^\circ\text{C}$ ) の下で測定し, ゲージ因子を求めた.

実験結果と理論値との比較を表に示す. p 型 Ge 基板のゲージ因子は符号的には理論値と一致する正の値であることが明らかである. これは Smith の測定値に問題があったことを示している. また, ノンドープ Ge 基板のゲージ因子は負になり, 理論的には n 型に近い値である. このことから, ドーピング前に結晶作製技術等の問題でドナー不純物が混入する能性がある. 鳥海等も Ge による p 型 MOS の研究で不可解な酸素の存在の影響があることを報告していることから [5], 今後はキャリアの測定によるドナー不純物の確認や水素アニール等による「酸素除去によって明らかにしていく必要がある.

表 1: p 型 Ge の応力による縦方向ゲージ因子

| 応力方向                  | Smith | 理論値 | ノンドープ Ge 基板 | p 型 Ge 基板   |
|-----------------------|-------|-----|-------------|-------------|
| $\langle 100 \rangle$ | -11   | 47  | -2.8        | $\sim 1$    |
| $\langle 110 \rangle$ | 64    | 78  | $\sim -20$  | 5 $\sim$ 40 |

参考文献

[1] C. S. Smith, Phys. Prev. 94, 42(1954)

[2] K. Matsuda, *et. al.*, IOP Conference Series: Journal of Physics 864, 012045, (2017).

[3] K. Matsuda, S. Nagaoka and H, Kajiyma, Jpn. J. Appl. Phys. 58, 098002, (2019).

[4] 松田, 生田, 中谷, 長岡, 筒井, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 11p-Z01-11, (2020 年)

[5] A.Toriumi *et. al.*, Jpn J. Appl. Phys. 57, 010101, (2018).