Ge の piezo 抵抗効果 (II)

Piezoresistance Effects on Germanium II

徳文大理工¹, 香川高専電子² ○松田 和典¹, 長岡 史郎²Tokubun Univ.¹, NIT Kagawa², ○Kazunori Matsuda¹, Shiro Nagaoka²

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

半導体の piezo 抵抗効果が導体のおよそ 100 倍もあることが Smith によって発見されて以来, Hensel, 長谷川, 藤安等により歪サイクロトロン共鳴の実験や, Pikus & Bir, Herring & Vogt, 鈴木・長谷川・神田等による理論的な研究が行われてきた. 近年では歪 Si は高速 RF デバイスやヘテロ構造のデバイス, 歪センサ等に使われている. Ge は Si に比べて移動度が大きく, 次世代の材料として注目されている. しかしこれまでの歪半導体の研究は Si では多く報告されているが, Ge についてはあまり研究されていない. そこで本研究では, Ge の piezo 抵抗効果をモデル化し, デバイス設計に直接利用できるようにする,

n 型 Ge では伝導バンド端が<111>方向で L 点に存在するため, 多谷モデルの計算により, 3 つの独立な piezo 抵抗係数は次のように表すことができる.

$$\pi_{11} = 0, \quad \pi_{12} = 0, \quad \pi_{44} = -\frac{\Xi_u s_{44}}{3kT} \frac{L-1}{1+2L}$$

ここで, Ξ_u はせん断変形ポテンシャル, $L \equiv \mu_{\perp} / \mu_{\parallel}$ である.

p 型 Ge では, 価電子バンドの歪効果として, 2 つのバンドが分離することによるホール移行効果 (DL 効果) と, スピン軌道分離バンドとの相互作用による軽いホールの有効質量変化 (BM 効果) がある. 歪ハミルトニアンとスピン軌道相互作用の計算より piezo 抵抗係数は,

$$\pi_{11} = \frac{4B|b|(s_{11} - s_{12})}{A''} \left(\frac{1}{1+\gamma} \cdot \frac{1}{kT} + \frac{1}{\Lambda} \right) = -2\pi_{12}, \quad \pi_{44} = \frac{D|d|s_{44}}{A''} \left(\frac{1}{1+\gamma} \cdot \frac{1}{kT} + \frac{1}{\Lambda} \right)$$

と計算できる. ここで, B, D は有効質量パラメータ, b, d は変形ポテンシャル, γ は重いバンドに対する軽いバンドの状態密度比, Λ はスピン軌道分離バンドのエネルギーギャップ 0.028eV, A'' は有効質量パラメータ A に状態密度を補正した係数である.

考察ではこれらの数値計算結果との比較を行うとともに, 価電子バンドの歪効果については, 高温と低温における状態密度の違いによる piezo 抵抗係数への影響について述べる.

[1] A.Toriumi et al., Microelectron Eng. **86**, 1571(2009)[2] K.Suzuki, H,Hasegawa and Y.Kanda, Jap. J. Appl. P hys. **23**, L871(1984).

[3] K.Matsuda, S.Nagaoka and Y.Kanda, IOP Conference Series 33th ICPS, Tu-P.151(2016).