

823 SiGe p型とn型半導体を焦結接合により
製作した熱電変換素子の形状が効率に及ぶ影響

The Influence of the Configuration to the Performance of Thermoelectric Elements
made by SiGe p-type and n-type semiconductors.

○正 辻 知章 (中央大理工) 正 野田 直剛 (静大工)

Tomoaki TSUJI, Chuo University, Bunkyo-ku Kasuga 1-13-27, Tokyo
Naotake NODA, Shizuoka University, Jyohohoku 3-5-1, Hamamatsu

The simulation model of the two types of thermoelectric elements is made by using Finite Difference Method. The simulated results are compared to the experimental data. In spite of the large resistance in the experimental data, calculated results are in agreement with experimental data. An optimum configuration of the thermoelectric element is obtained.

Key Words: Thermoelectric element, SiGe, FDM, Simulation, Optimum configuration

1 はじめに

熱電変換素子は熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換する事が出来るデバイスである。これらの変換素子には、ゼーベック効果を用いた発電機や、ペルチェ効果を用いた冷却素子等がある。それらの素子は通常直方体を基本とする形状を取ることが多い。これらの効率を求めるために、構造を1次元にモデル化した解析的な方法や数値的な方法が提案されている^{(1),(2)}。一方、静岡県浜松工業技術センターにより、Fig.1 に示すように Si と Ge 半導体を焼結生成し、間に1つあるいは3つのスリットを入れた構造からなる熱電変換素子が開発されている。この種の構造を持つ変換素子のシミュレーションを行う事は、変換素子を作製する上で欠かさない事である。そこで本研究では、Fig.1 に示す2種類の熱電変換素子のシミュレーションモデルを有限差分法により作製し、種々の解析をおこなっている。また、1スリットモデルについては、形状パラメータの最適化を試みている。

2 数値解析

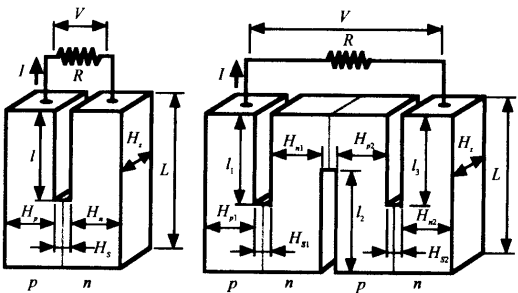


Fig.1 The thermoelectric elements made by Hamamatsu Industrial Research Institute of Shizuoka Prefecture.

Table 1 Geometric properties of one slit model for the experiment.

#	L[mm]	l[mm]	H _p ,H _n [mm]	H _s [mm]	H _{si} [mm]
1	30	15	2.8	5.5	0.5
2	30	23	2.8	5.5	0.5
3	24	15	2.8	5.5	0.5
4	24	18	2.8	5.5	0.5

2.1 シミュレーターの作成 素子の奥行き (Hz) 方向には温度場 T 、電場 ϕ ともに一様として、2次元の定式化を行う。 T と ϕ それぞれによる、熱流速 q_x, q_y と電流 J_x, J_y は以下のように記述出来る^{(1),(2)}。

$$q_x = \alpha T J_x - \kappa \frac{\partial T}{\partial x}, \quad q_y = \alpha T J_y - \kappa \frac{\partial T}{\partial y}$$
$$J_x = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} + \alpha \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad J_y = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} + \alpha \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

ここで、 α, ρ, κ はそれぞれ、ゼーベック係数、比抵抗、熱拡散係数であり、Fig.2 に示すような温度依存性を示す。これら材料係数の温度依存性を考慮した数値解析シミュレーターを差分法を用いて作成した。Fig.3 は、温度場および電位場の境界条件を示す。側面およびスリット部表面は断熱および絶縁されているとする。下部を高温度側とし、温度を固定する。上部は大気中と熱伝達を行うとする。ここで、実測データを元に、熱伝達係数を $480[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ と置いた。

2.1 1スリットモデル Fig.1(a) に示すスリットが1つのモデルは、Table 1 に示す4種類の形状が実際に作製され実験が行われている。これらの形状について解析を行っ

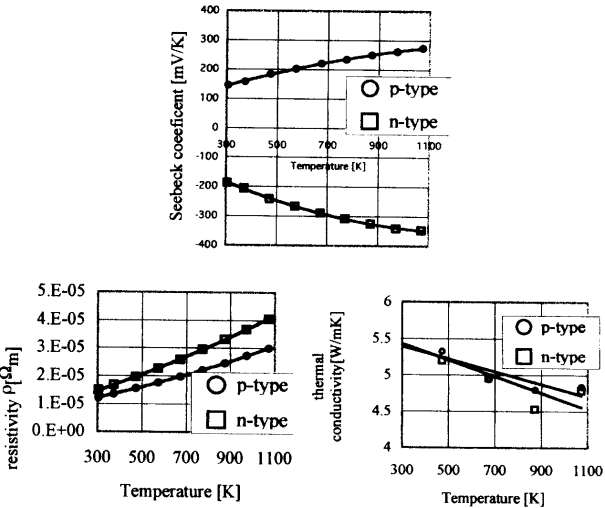


Fig.2 The thermal and electric properties of

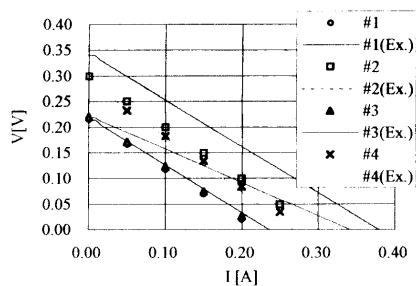


Fig. 4 Relationship between $V[V]$ and $I[A]$ with $T_h = 1173K$.

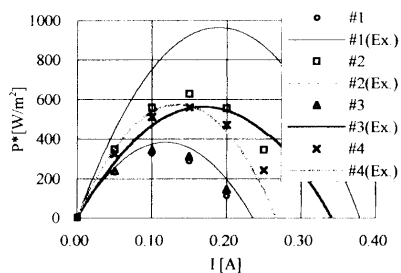


Fig. 5 Relationship between I and P^* .

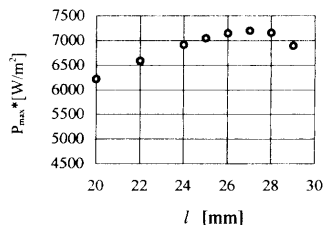


Fig. 6 Relationship between l and $P_{max}^*[W/m^2]$ ($L = 30mm$, $H_p = H_n = 30mm$, $H_s = 0.5mm$, $H_z = 5.5mm$).

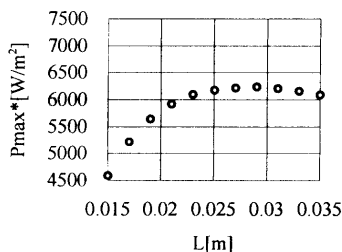


Fig. 7 Relationship between L and $P_{max}^*[W/m^2]$ ($L - l = 10mm$, $H_p = H_n = 30mm$, $H_s = 0.5mm$, $H_z = 5.5mm$).

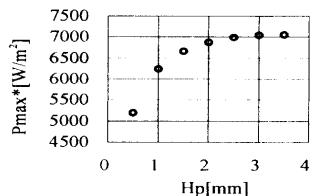


Fig. 8 Relationship between H_p and $P_{max}^*[W/m^2]$ ($L = 30mm$, $l = 25mm$, $H_s = 0.5mm$, $H_z = 5.5mm$).

た結果を Fig.4 と 5 に示す。Fig.4 は電流 I と出力電圧 V 、Fig. 7 は電流 I と出力を素子上面の面積で割った、単位面積あたりの出力 P^* との関係である。実験においては、かなり高い内部抵抗値が測定された。そこで、 $R_0 = 0.91[\Omega]$ をシミュレーションモデル内に想定し、実験値との比較を行った。 R_0 を導入する事により、実験値と計算値はほぼ等しい値となっている。最適形状を求めるために、 l , L , H_p と面積当たりの最大出力 P_{max}^* との関係を Fig.6-8 に示す。

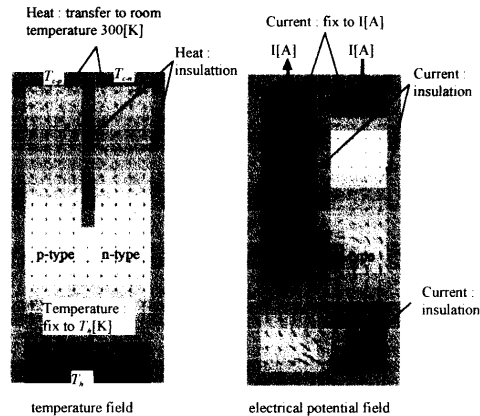


Fig.3 Boundary conditions for the temperature and the electrical potential fields.

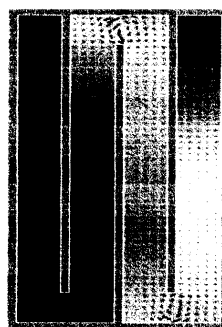


Fig. 9 Electric potential field of the three slits model with $I = 0.25A$. ($l_1 = l_2 = l_3 = 23.5mm$, $L = 26mm$, $H_{p1} = H_{n1} = H_{p2} = H_{n2} = 2.5mm$, $H_{s1} = H_{s2} = H_{s3} = 0.5mm$)

これらの図より、 $l = 24mm$, $L = 27mm$, $H_p = H_n = 3mm$ を初期値として最適形状の探索を行った。局所的な最適形状になっている可能性はあるが、 $l = 23.5mm$, $L = 26mm$, $H_p = H_n = 2.5mm$ において、 $P_{max}^* = 7511[W/m^2]$ が得られた。

2.2 3スリットモデル 最適な形状を持つ1スリットモデルの2倍の大きさを持つ3スリットモデルの計算を行った。Fig.9 に電場の分布を示す。単位面積あたりの最大出力は $7246[W/m^2]$ であり、1スリットモデルよりも若干低い値となった。図より、pタイプとnタイプの半導体の接合部でかなり高い電流の流れがあることがわかる。 $I = 0.25[A]$ における3スリットモデルのジュール熱は $0.0452[W]$ であり、1スリットモデルのジュール熱 $0.0168[W]$ に比べ大きく、これが出力の低下の一因と考えられる。

3 終わりに

2種類の熱電変換素子モデルの解析を2次元の差分法により行い、実測値との比較を行った。実測ではかなり大きい内部抵抗値が測定されたが、その影響を考慮することにより、実験値と計算値を合わせる事が出来た。試行錯誤的な方法により、1スリット形状の熱電変換素子の最適形状を求めた。さらに、この形状の2倍の大きさを持つ、3スリットモデルの解析も行った。

参考文献

- 1) M. S. El-Genk, J. T. Seo, and J. J. Buksa, J. Appl. Phys., 61-5 (1987), pp.2059-2064.
- 2) J. Chen, Z. Yan, and L. Wu, J. Appl. Phys., 79-11 (1996), pp.8823-8828.