点接触型ペルチェ素子の先端温度過渡特性*

安齋 徹^{*1}・山口 栄雄^{*1,*2}

Time-Transient Characteristics of a Point-Contact-Type Peltier Device

Toru ANZAI^{*1} and Shigeo YAMAGUCHI^{*1,*2}^{*1}Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Kanagawa University, 3-27-1 Rokkakubashi Kanagawa-ku, Yokohama 221-8686, Japan^{*2}High-Tech Research Center, Kanagawa University, 3-27-1 Rokkakubashi Kanagawa-ku, Yokohama 221-8686, Japan

(Received October 28, 2008, Accepted January 10, 2009)

We proposed a new type of Peltier device, and succeeded in the fabrication of the device, which we call a point-contact-type sandwich-structure (PCS). A micro-object can be cooled or heated using our fabricated device. The tip was cooled through the Peltier effect, and a tip temperature of -36.3°C was achieved at a current of 28 A. When current was reversed, the tip was heated and the maximum tip temperature was 251.5°C at a current of 20 A. The PCS Peltier device can be useful in medical treatment and bioelectronics.

1. はじめに

熱電変換は熱を電気、あるいは電気を熱に直接変換する現象である。熱電変換における一般的な研究は、主に熱電発電における性能の向上を目指し、複数の材料を混合させることによる材料の特性の改善や解析が主に行われている。これまでわれわれは、微小物体や、微小な熱に適應することができる、小型熱電変換素子の作製および評価を行ってきた¹⁻³⁾。これらの熱電発電素子は、p型およびn型の対を複数用意し、温度差を与えることによる発電、すなわちゼーベック効果を用いた熱電発電である。この逆の効果として、素子に電流を流すことにより温度差を与えることができるペルチェ効果がある。ペルチェ効果を用いたペルチェデバイス、かつてから実用化されているが、この素子は一般的に π 型と呼ばれる構造が採用されており、CPUの冷却ユニット、温冷蔵庫などの二次元的なマクロな部分の冷却には適しているが、ミクロな部分に適用することは難しい。また、効率などの観点から普及が滞っているのが実状である。

この問題を克服するために、われわれは π 型構造とは異なる新たな構造を採用したペルチェ素子を提案・開発した^{4,5)}。

この素子を用いることにより、微小物体や局所的な部分の冷却や加熱、さらには、微小物体のマニピレーションへの応用が期待できる。

2. 点接触型ペルチェ素子

Fig. 1にわれわれが提案し、作製および評価を行った点接触型ペルチェ素子の模式図を示す。この素子は、p型およびn型の Bi_2Te_3 系半導体バルク材料を用い、さらに銅製放熱板により挟み込むことにより構成される。この放熱板は電

極としても兼用される。また、このp型およびn型の Bi_2Te_3 系半導体の間に、先端となる微小な針を挟み込むサンドイッチ構造となっている。この構造を採用することで、従来のペルチェ素子では実現不可能であった、対象物の接触部か

Fig. 1 Schematic structure of point-contact-type sandwich-structure (PCS) device.

Table 1 Comparison between PCS Peltier device and π -shaped device.

	π -type device (conventional type)	PCS device (our type)
Structure	Complicated	Simple
Repair	Difficult: each element is connected to each other in series. Therefore, it will not operate when even a part is disconnected.	Easy: because the structure is very simple, device users can repair the device themselves.
Size of objects	Large	Local, point, very small
Efficiency	Low: heat is transmitted through a medium insulator.	High: this device does not use an insulator, and heat is exchanged directly between the device and the objects.
Cooling/heating	Almost only cooling	Both cooling and heating
Adaptability	The objective size is decided by the device size.	it is possible to adopt the device size according to the device size.

* 平成20年10月28日 第49回真空に関する連合講演会で発表

^{*1} 神奈川大学大学院工学研究科 (〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

^{*2} 神奈川大学ハイテクリサーチセンター (〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

Fig. 2 Photograph of PCS device. A sharp micro-tip made of copper (or other material) was set between the p and n type semiconductor bulks and also between the copper electrodes to allow heat radiation.

ら放熱部への熱の直接的輸送が可能となった。また、従来の π 型構造ペルチェデバイスでは、故障した際の修理が不可能であるが、われわれが提案する素子は、修理・メンテナンスはもちろん、先端部を用途に合わせて簡単に取り替えることができる。詳細は **Table 1** に示す。

Fig. 2 に、われわれが実際に作製した素子の写真を示す。銅で作製された先端金属を p 型および n 型の Bi_2Te_3 系半導体材料で挟み込み、さらに放熱兼電極の銅板で挟み込むことにより構成される。

今回、素子特性の評価測定に用いた銅製の先端では、針の長さが 2.0 mm、先端径が約 200 μm 、厚さは 500 μm とし、タマネギの細胞の冷却に使用した素子では、先端径を 100 μm 、長さを 5 mm のものとした。また、半導体バルクは、p 型は $\text{Bi}_{0.59}\text{Sb}_{1.30}\text{Te}_3$ 、および n 型は $\text{Bi}_2\text{Se}_{0.37}\text{Te}_{2.36}$ とし、サイズはそれぞれ 3.2 mm $\times$ 3.2 mm $\times$ 1.5 mm とした。

3. 実験および結果

3.1 先端温度の電流依存性

Fig. 3 に、作製した素子の先端部温度における電流依存性を示す。冷却時において、最下点温度は -36.3°C (28 A, 18.2 W) となった。また、加熱時においては、最高到達温度は 251.5°C (20 A, 12.2 W) となった。従来から用いられている π 型構造素子では、対象物の加熱を目的とした利用は殆ど皆無であるが、点接触型ペルチェ素子では、対象物の冷却のみならず、加熱に対しても積極的に利用することができる。

3.2 先端温度の時間依存性

Fig. 4 に、作製した素子の先端部における温度の時間依存性を示す。(a) 図には、点接触型ペルチェ素子の冷却時 28 A (最下点時) における過渡特性、ならびに、 π 型ペルチェ素子の過渡特性を示す。 π 型ペルチェ素子と比較して、時間応答性が大幅に改善していることがわかる。また、(b) 図には加熱時 20 A における過渡特性を示す。

Fig. 5 に、**Fig. 4** で示した時間依存性に基づき、計算により評価した時定数の電流依存性を示す。計算手法としては、時定数を τ としたとき、温度が $\exp(-t/\tau)$ により時間変化することを用いた。これにより、冷却時において、28 A 時に 1.0 秒、加熱時において、20 A 時に 2.0 秒という極めて小さい時定数を得た。

Fig. 3 Current dependences of tip temperature of PCS device during cooling (closed circles) and heating (open circles).

Fig. 4 Time dependences of tip temperature of PCS device. (a) at current = 26 A for cooling (closed circle) and conventional π -type structure Peltier device (open circles), (b) at current = 20 A for heating.

Fig. 5 Current dependences of time constant of PCS device during cooling (closed circles) and heating (open circles).

Fig. 6 Time transient photographs during operation of device and contacted with an onion cell: (a) at current = 0 A, (b) at current = 10 A for cooling, and (c) at current = 10 A for heating.

3.3 点接触型ペルチェ素子の応用

点接触型ペルチェ素子の応用例として、**Fig. 6**にタマネギの薄片の冷却時・加熱時における顕微鏡写真を示す。この観察においては、先端径 $100\ \mu\text{m}$ 、長さ $5\ \text{mm}$ の銅製先端を用いた。電流 $I=0\ \text{A}$ 、すなわち冷却も加熱も行っていない状態において、タマネギの薄片を点接触型ペルチェ素子の先端部に付着させ（(a)図）、この状態から電流を $I=10\ \text{A}$ 流すことにより、タマネギを冷却し凍結させた（(b)図）。タマネギの薄片が冷却され、凍結している様子が観察できる。また、(a)図の状態から、電流の極性を反転させ、 $I=10\ \text{A}$ 流すことにより、先端を加熱状態にすることで、タマネギの薄片の加熱を行った（(c)図）。この図より、素子の先端部より

Fig. 7 The photograph of a stained nuclear cell of an onion and device tip made by tungsten.

タマネギの薄片が加熱され、水分が蒸発していることが確認できる。

さらに微小な物体の冷却の観察として、**Fig. 7**に、染色したタマネギの核細胞の冷却の様子を示す。観察条件は、上記と同じである。ペルチェ素子の先端針を試料に接触後、電流を $10\ \text{A}$ 流すことにより針を冷却させた。タマネギの核細胞はおよそ $50\ \mu\text{m}$ 程度であるが、従来では不可能であった微小物体や局所的な冷却および加熱が可能であることがわかる。

4. おわりに

本研究において、われわれが提案したペルチェ素子は、医用工学やバイオエレクトロニクスにおける様々な研究分野においての用途が期待できる。例えば、人体内部におけるガン細胞を先端部の加熱により壊死することが可能であり、あるいは、冷却により凍結細胞を実現したりすることも可能である。また、再生医療の分野においては、この点接触型ペルチェ素子を用いることにより熱的な刺激を神経細胞などの微小部位に与えることができ、従来では不可能であった反応の観察の可能性も期待できる。

謝辞

本研究の一部は、財高橋産業経済研究財団および、文部科学省「ハイテクリサーチセンタープロジェクト」の援助により実施された。

〔文 献〕

- 1) R. Izaki, N. Kaiwa, M. Matsumoto, T. Yaginuma, S. Yamaguchi and A. Yamamoto: Appl. Phys. Lett., **97** (2005) 243508.
- 2) R. Izaki, M. Hoshino, T. Yaginuma, N. Kaiwa, S. Yamaguchi and A. Yamamoto: Microelectron. J., **38** (2008) 667.
- 3) N. Kaiwa, J. Yamazaki, T. Matsumoto, S. Yamaguchi and A. Yamamoto: Appl. Phys. Lett., **90** (2007) 052107.
- 4) T. Anzai, S. Yamaguchi and A. Yamamoto: MEMS TECHNOLOGY AND DEVICES, (PAN Stanford Publishing, Singapore, 2007), p. 25.
- 5) S. Yamaguchi, T. Anzai and A. Yamamoto: Electro-Chemical and Solid-State Letters, **11** (2008) H103.