

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009年～2011年

課題番号：21560057

研究課題名(和文)

点接触型超高速電子冷却加熱素子の開発

研究課題名(英文)

Fabrication of a point-contact-type Peltier device

研究代表者

山口 栄雄 (YAMAGUCHI SHIGEO)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：20343634

研究成果の概要(和文)：

従来の π 型構造ペルチェ素子では不可能であった点接触での冷却加熱が可能となる新たな構造のペルチェ素子を開発した。具体的には、P型およびN型熱電材料の間に直接作用子となる金属チップを挟み込み(PNサンドイッチ構造とよぶ)、その作用子を電流により直接電子駆動させることで、急峻な温度変化が得られるようになった。時定数は、冷却時(32A、-47.1℃)には最小で1秒、加熱時(35A、335.0℃)には最小で1.5秒の時定数を得た。これにより、1ミクロン以下のサイズの対象物を急峻に冷却あるいは加熱することが可能となった。さらに、この構造の応用例として、先端の金属チップを外科用メスにすることで、急峻に温度変化を行えるペルチェメスを試作した。

研究成果の概要(英文)：

A novel thermoelectric cooling/heating device was proposed and fabricated as an alternative to the conventional pi-type device. The structure includes a sharp tip that is positioned between p- and n-type Bi₂Te₃ bulks, and the tip can easily be exchanged when different targets are cooled or heated. The tip sizes are 50–100 μ m when a copper tip is used and 100 nm when a cantilever is used. The tip temperature reached -47.1 °C during cooling and 335.0 °C during heating. The thermal time constant of the device was as small as 1sec. Our device is useful not only for cooling/heating micro-objects but also for heat manipulation of micro-organisms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
21年度	3,100,000	930,000	4,030,000
22年度	500,000	150,000	650,000
23年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	4,100,000	1,230,000	5,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：熱、熱電変換

1. 研究開始当初の背景

医用工学及びバイオエレクトロニクス分野では、生体細胞や微小生物など、極微小の対象物を熱的に制御・操作する技術が必要と

なっている。とりわけ、細胞培養などで精密な温度場を提供できる電子冷却素子(ペルチェ素子)が上記の分野では広く使われている。しかしながら、図1に示すような旧来のいわ

ゆるπ型構造ペルチェ素子は、その構造上、2次元的な広がりしかもたず、対象物が微小・微細な場合の冷却には適さない。一方、電子冷却素子（ペルチェ素子）の小型化は、バイオエレクトロニクスなどの分野で要望が大きい。従来は、Bi₂Te₃系π型ペルチェ素子をそのまま小型化および薄膜化するアプローチが取られているが、絶対的な吸熱量は素子材料の体積で効いてくるため、大きな吸熱量を得ることは原理的に不可能である。

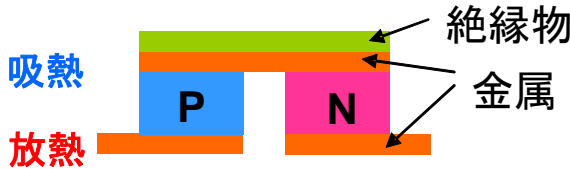


図1 従来型ペルチェ素子構造（π型）

2. 研究の目的

吸熱・放熱能力をワットクラスを維持したまま、極微サイズの対象物を冷却・加熱可能で、かつ熱応答性の高い新たなペルチェ素子を作製することを目的とした。

3. 研究の方法

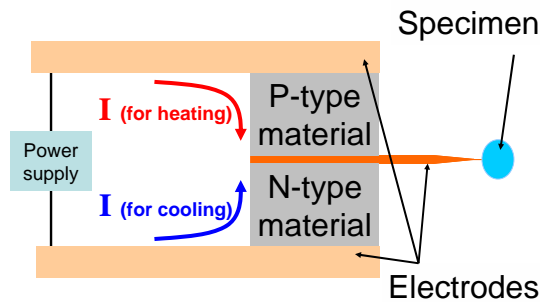


図2 PN サンドイッチ型ペルチェ素子

冷却・加熱対象物を旧来の2次元的な広がりから0次元的な微小物体をターゲットとし、この実現のため、図2に示すような構造を提案採用した。材料にはステンレスあるいは銅を用い、使用する針状材料の点接触到に適した微細加工を行った。最適な針状部の形状やサイズを、有限要素法によりシミュレーションを行い、実測と比較することでフィードバックを行った。

単に、PN間に金属を単純に挟んだだけでは、

接触電気抵抗・熱抵抗が大きく、抵抗による熱損失が勝り、冷却効果は生じない。そこで、低融点金属などの、密着性が良い電極を介在することによる抵抗の低減を図った。

また、提案した素子の時定数（電流投入後の冷却温度速度）を計算により見積もり、時定数の評価を実施した。完成した素子（50mm[素子長]×10mm[素子幅]×20mm[素子高]、針状先端径100nm~1μm）の針状先端温度の過渡特性評価及び時定数を評価した。

4. 研究成果

針状部の先端径が細いほど極小サイズの対象物に対応するが、吸熱量は針状部の体積、熱伝導率及び熱容量に大きく依存する。細過ぎると吸熱が滞り、太過ぎると外気との熱の授受によりやはり吸熱が滞る。そのため、最適な針状部の形状やサイズが存在する。それを、有限要素法によりシミュレーションを行い、実測と比較することでフィードバックを行った。

先端チップ温度の素子電流値依存性を図3に示す。縦軸に冷却時と加熱時をプロットした。冷却時は、32A、5.44Wのときに最下点温度-47.1°Cにを達成し、加熱時には、35A、12.95Wで、335.0°Cに至った。

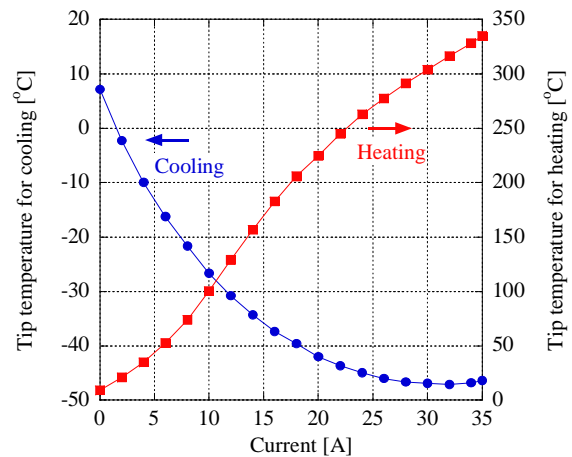


図3 チップ先端温度と電流値

時定数は、素子全体の熱容量に対して、i) 電流が運ぶペルチェ吸熱（あるいは発熱）、ii) 熱伝導、および iii) ジュール熱の三種の熱流が効いてくることを考慮し計算し、冷却時の最小時定数として1秒、加熱時でも2秒を期待できることがわかり、図4に示すように、実際の素子においてもほぼ同様の数値を得た。

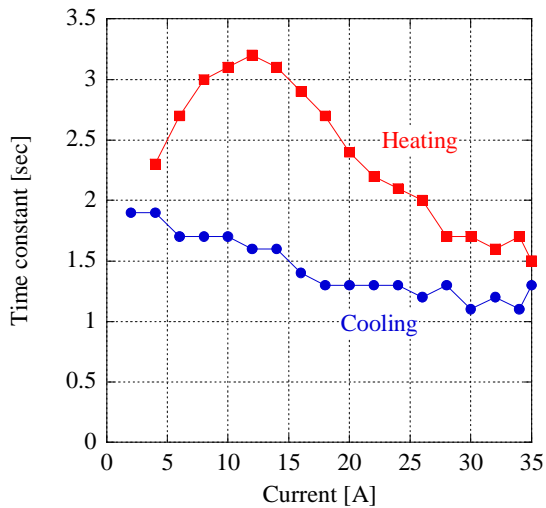


図4 時定数と電流値

次に、PN サンドイッチ型ペルチェ素子の応用例の一つとして、ペルチェメスを試作したので紹介する。構造はいたってシンプルで、図5に示すように、先端チップを外科用ステンレスメスに交換した構造となっている。

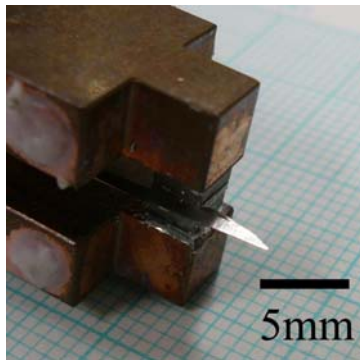


図5 ペルチェメス

先端メスの温度と電流値との関係を図6に、熱サイクルを図7に示す。

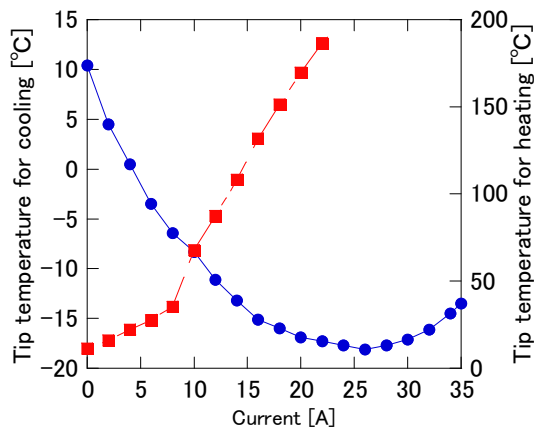


図6 ペルチェメスの温度と電流値

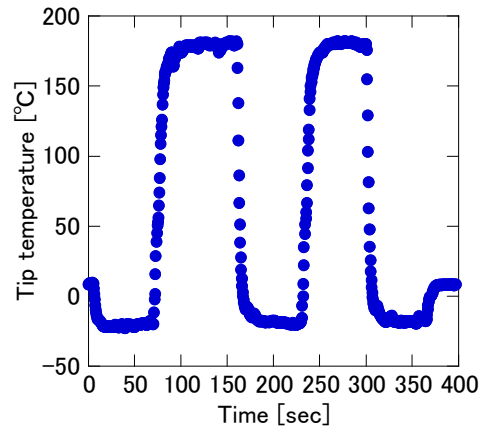


図7 ペルチェメスの熱サイクル

このペルチェメスを用いて、鶏肉を切除した際の顕微鏡写真を図8に示す。とくに焦げ付いたりすることなく、容易に切除可能であった。

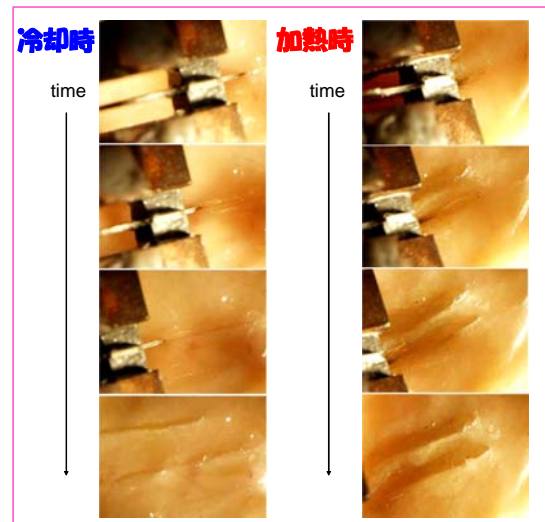


図8 ペルチェメスによる鶏肉の切除

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

① N. Suzuki, H. Homma, and S. Yamaguchi, Proposal and fabrication of a precisely temperature-controlled NN-type Peltier device with a T-shaped stage, *Advanced Materials Research*, 254, 183-186 (2011) (査読有) .

② Y. Murayama, H. Homma, and S. Yamaguchi, Fabrication of a new Peltier device with a coaxial thermocouple, *Advanced Materials Research*, 254, 124-127 (2011) (査読有) .

③ K. Arakawa and S. Yamaguchi, A Thermoelectric Cooling/Heating Knife using Bi₂Te₃-Based Bulks, ECS Transactions 25, 75-80 (2010) (査読有).

〔学会発表〕(計 17 件)

①村山陽輔、山口栄雄、レーザードップラー振動計を用いたペルチェ素子の振動測定評価、ソサエティ大会 電子情報通信学会 9/15, 2011, 北大

②N. Suzuki and S. Yamaguchi, Fabrication and improvement of a temperature-controlled NN-type Peltier device with a T-shaped stage, International Symposium on Sputtering and Plasma Processes, July 6-8, 2011, Kyoto Research Park, Kyoto.

③ Y. Murayama and S. Yamaguchi, Fabrication and characterization of a thermocouple for direct temperature measurement at a small point, International Symposium on Sputtering and Plasma Processes, July 6-8, 2011, Kyoto Research Park, Kyoto.

④鈴木信之、山口栄雄、NN型ペルチェ温度場ステージの作製と評価、日本顕微鏡学会 第 67 回学術講演会、5/16, 2011, 福岡国際会議場

⑤村山陽輔、山口栄雄、PNサンドイッチ構造を用いた同軸熱電対一体型ペルチェ素子の作製・評価、日本顕微鏡学会 第 67 回学術講演会 5/16, 2011, 福岡国際会議場

⑥本間秀幸、山口栄雄、NN型ペルチェ素子の提案と作製、第 27 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム 10/14, 2010, くにびきメッセ、松江

⑦荒川景、山口栄雄、直列サンドイッチ構造ペルチェ素子の温度制御、ソサエティ大会 電子情報通信学会 9/14, 2010, 大阪府大

⑧鈴木信之、山口栄雄、温度場ステージの作製と評価、電気学会基礎・材料・共通部門大会 9/13, 2010, 琉球大学

⑨村山陽輔、山口栄雄、熱電対一体型ペルチェ素子の作製・評価、電気学会基礎・材料・共通部門大会 9/13, 2010, 琉球大学

⑩鈴木信之、山口栄雄、PNサンドイッチ構造ペルチェ素子を用いた温度場ステージの作製と評価、日本顕微鏡学会 第 66 回学術講演会 5/24, 2010, 名古屋国際会議場

⑪村山陽輔、山口栄雄、サンドイッチ構造を用いた熱電対一体型ペルチェ素子の作製・評価、日本顕微鏡学会 第 66 回学術講演会 5/24, 2010, 名古屋国際会議場

⑫鈴木弘士、山口栄雄、直接駆動型ペルチェ方式温度場ステージの作製と評価、電気化学会第 77 回大会 3/29, 2010, 富山大学

⑬荒川景、山口栄雄、直列形サンドイッチ構造ペルチェ素子の作製と温度制御評価、2010

年総合大会 電子情報通信学会 3/17, 2010 年 東北大

⑭荒川景、山口栄雄、サンドイッチ構造ペルチェ素子の温度制御評価、2009 年ソサエティ大会 電子情報通信学会 9/16, 2009 年 新潟大

⑮鈴木弘士、山口栄雄、サンドイッチ構造ペルチェ素子の時定数評価、電気学会基礎・材料・共通部門大会 9/10, 2009, 静大

⑯K. Arakawa, I. Yamazaki, T. Anzai, and S. Yamaguchi, Time constant and internal resistance controlled by sputtering-coated tin oxide films for a sandwich structure Peltier device, International Symposium on Sputtering and Plasma Processes, July 8-10, 2009, Kanazawa Kokusai Hotel, Kanazawa.

⑰荒川景、山口栄雄、医療分野への応用を目的としたペン型ペルチェメスの作製と評価、日本顕微鏡学会第 65 回学術講演会 5/26, 2009, 仙台国際センター

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称：ペルチェモジュール

発明者：山口栄雄

権利者：神奈川大学

種類：特許

番号：特願 2009-237814

出願年月日：21 年 10 月 15 日

国内外の別：国内

名称：ペルチェモジュール

発明者：山口栄雄、本間秀幸

権利者：神奈川大学

種類：特許

番号：特願 2009-256289

出願年月日：21 年 11 月 9 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ee.kanagawa-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 栄雄 (YAMAGUCHI SHIGEO)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：20343634

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし