

# ペルチェ 効果を用いた CPU 冷却用薄膜の開発

## Thin film fabrication for Central Processing Unit cooling using Peltier effect

プロジェクト 代表者: 長谷川靖洋 (理工学研究科所属・助手)

Yasuhiro HASEGAWA (Graduate school of Science and Engineering)

### 1. 背景

近年のデジタル社会の進展により パソコンの重要性が増し、ますますその性能も高くなっている。それに伴い PC 業界において、その中心的な役割をはたす CPU の処理速度の向上が求められている。処理速度向上には、CPU の高集積化と発熱の除去が重要であり、すでに技術開発が終了段階にある高集積化に対し、発熱の除去の問題については未だ解決されていない。よって、さらなる処理速度向上のためには熱除去の問題解決が必要不可欠である。

現在、様々な CPU 冷却方法があるが、その方法の一つとしてペルチェ素子を用いたものがある。ペルチェ素子とは、素子に電流を流すことにより、キャリア(正孔または電子)とともに熱が移動し材料の一端で発熱が起こり、もう一端で吸熱が起こるものである。ペルチェ素子による冷却の最大のメリットは、CPU による発熱を積極的に冷却できる(吸熱する)ところにある。また、ファンやヒートシンクを用いた現状の冷却システムに組み込むことができることも大きな利点である。しかしながら、現在性能の良い素子の材料(BiTe系)は人体にとって有害であり、パソコンの廃棄などの観点から一般的な冷却方法として普及するに至っていない。そこで、無毒性である第一酸化銅  $\text{Cu}_2\text{O}$  を材料としたペルチェ素子による CPU 冷却を検討する。

### 2. 目的

第一酸化銅  $\text{Cu}_2\text{O}$  はバンドギャップ  $2.0\text{eV}$  をもった p 型の直接遷移型半導体であり、キャリア密度が  $10^{16}\text{cm}^{-3}$  程度と低い故に高いゼーベック係数( $\sim 1\text{mV/K}$ )を持つ。銅と酸素の代表的な化合物の組み合わせには  $\text{Cu}_2\text{O}$  の他に Cu、CuO があり、Cu は金属、CuO は絶縁物ということから、これら二つの物質はペルチェ素子として使用することはできない。そこで酸化銅薄膜を作製する際に、所望の Cu、CuO、 $\text{Cu}_2\text{O}$  を作製する必要がある。酸化銅作製法には反応性スパッタリング法、銅の熱酸化など様々な方法があるが、本研究では銅と酸素を化学反応させることができ、なおかつ高い成膜速度で成膜可能な反応性イオンプレーティング法を用い、酸素流量を変化させることによって、所望の銅と酸素の化合物を作製し、 $\text{Cu}_2\text{O}$  膜のペルチェ素子としての性能を高めていくことを目的とする。

### 3. 実験方法

#### 3.1 薄膜の作製

本実験での酸化銅薄膜の成膜は、埼玉県産業技術総合センターに設置してある(株)昭和真空製 SIP-650 を使用し行った。図 1, 2 に反応性イオンプレーティング装置の外観の写真、内部の概略を示す。

反応性イオンプレーティング法とは、高真空状態のチャンバ内に反応性ガスを導入し、高周波電源によりプラズマを発生させる。ターゲットは電子銃により加熱され、蒸発したターゲットの粒子はプラズマによりイオン化させる。基板支持台を陰極にすることにより、イオン化した材料は高速に加速され基板まで到達し成膜を行う方法である。特徴として、高速での反応性成膜が可

能、薄膜の基板に対する付着強度が大きいなどが挙げられる。

酸化銅薄膜の成膜条件は、以下の通りに行った。

A) 酸素ガスのみ導入(15〜45sccm まで変化)、基板温度は室温

B) 酸素流量 15sccm 一定で、さらに窒素ガスを導入(0〜6sccm まで変化)、基板温度は室温  
その他の条件、高周波電源出力、基板バイアス、目標膜厚、成膜速度をそれぞれ 300W、0V、500nm、0.5nm/sec としてすべての成膜を行った。

また、成膜後、膜に空气中でアニール処理(300℃、10分)を施した。



図1 反応性イオンプレーティング装置

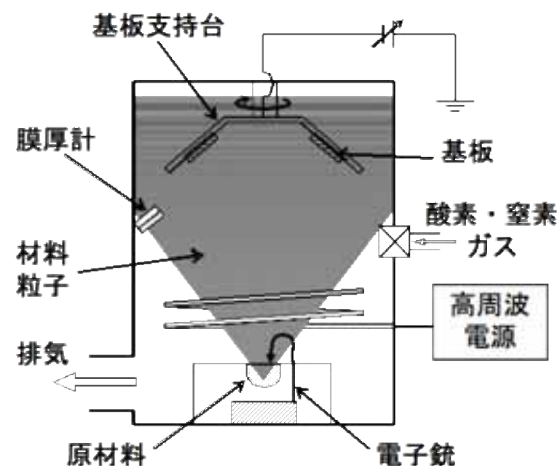


図2 装置内部の概略

### 3.2 薄膜の測定

作製した酸化銅薄膜のゼーベック係数、抵抗率、膜厚はそれぞれ、簡易的な測定方法であるゼーベックテスター、抵抗四端子測定器、Dektak6M を用いて測定し、また、膜の結晶構造は X 線回折により決定した。

薄膜のペルチェ素子としての性能はゼーベック係数、抵抗率から求められるパワーファクタ(ペルチェ素子の性能は一般的に、パワーファクタ  $P = \alpha^2 / \rho$  で与えられる。 $\alpha$ : ゼーベック係数[V/K]、 $\rho$ : 抵抗率[ $\Omega\text{m}$ ]) により評価を行った。

## 4. 実験結果

### 4.1 X 線回折パターン

酸素流量を変えて作製した薄膜の XRD パターンを図3に示す。酸素流量 0sccm では Cu ピークのみ示し、流量 15sccm では Cu ピークが消え  $\text{Cu}_2\text{O}$  ピークのみ示す。それ以上酸素流量を多くすると  $\text{Cu}_2\text{O}$  と  $\text{CuO}$  の両方のピークを示す。これにより、酸素流量の調節によって所望の銅と酸素の化合物が得られることを確認することができた。

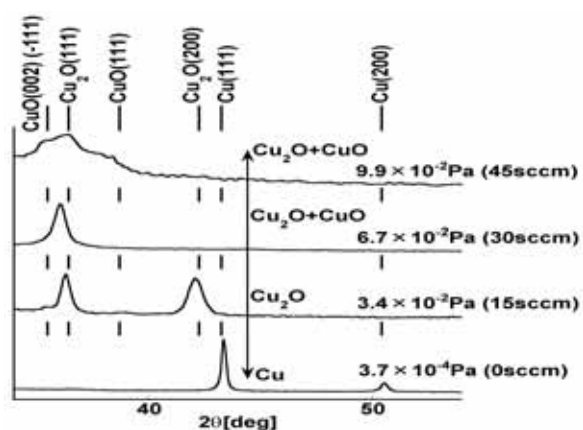


図3 酸素のみで作製した薄膜の XRD パター

### 4.2 ゼーベック係数・抵抗率

酸素流量を変えて作製した薄膜、窒素流量を変えて作製した薄膜のゼーベック係数、抵抗率を図4、5それぞれ示す。酸素のみで作製した薄膜は、流量が多くなるにつれ  $\text{CuO}$  が生成され、ゼ

ーベック係数は低下し、抵抗率は上昇する傾向にある。また流量 15sccm における  $\text{Cu}_2\text{O}$  のみの薄膜では室温でゼーベック係数 0.7mV/K、抵抗率 130  $\Omega\text{cm}$  であった。測定された抵抗率は他の方法で作製された  $\text{Cu}_2\text{O}$  薄膜[1,2]とほぼ一致する。

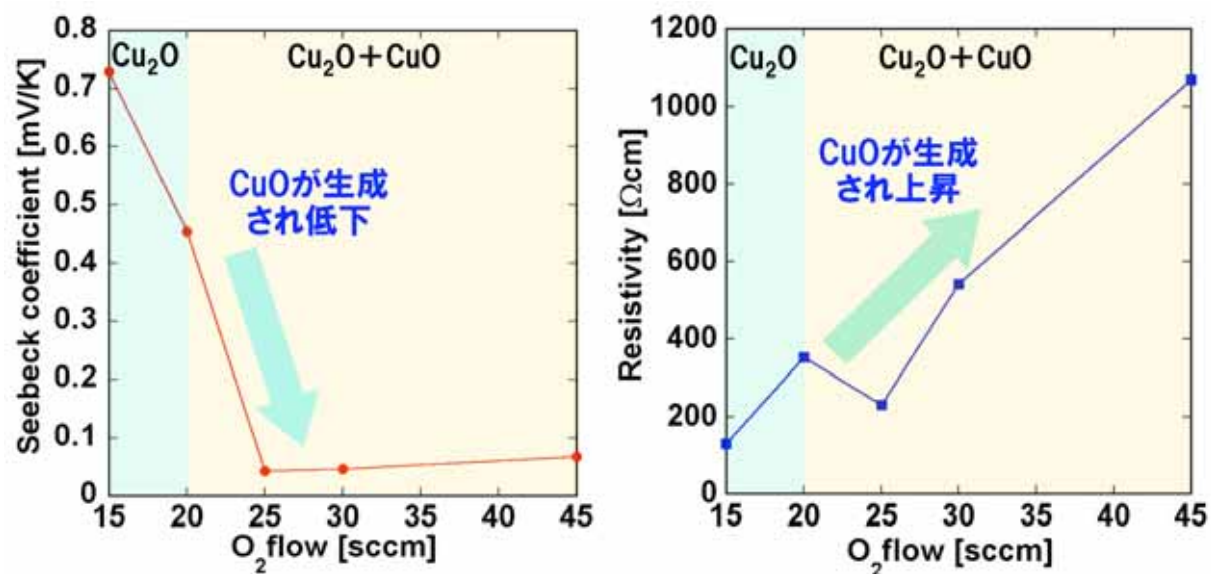


図4 酸素と共に窒素を入れ作製した薄膜のゼーベック係数、抵抗率

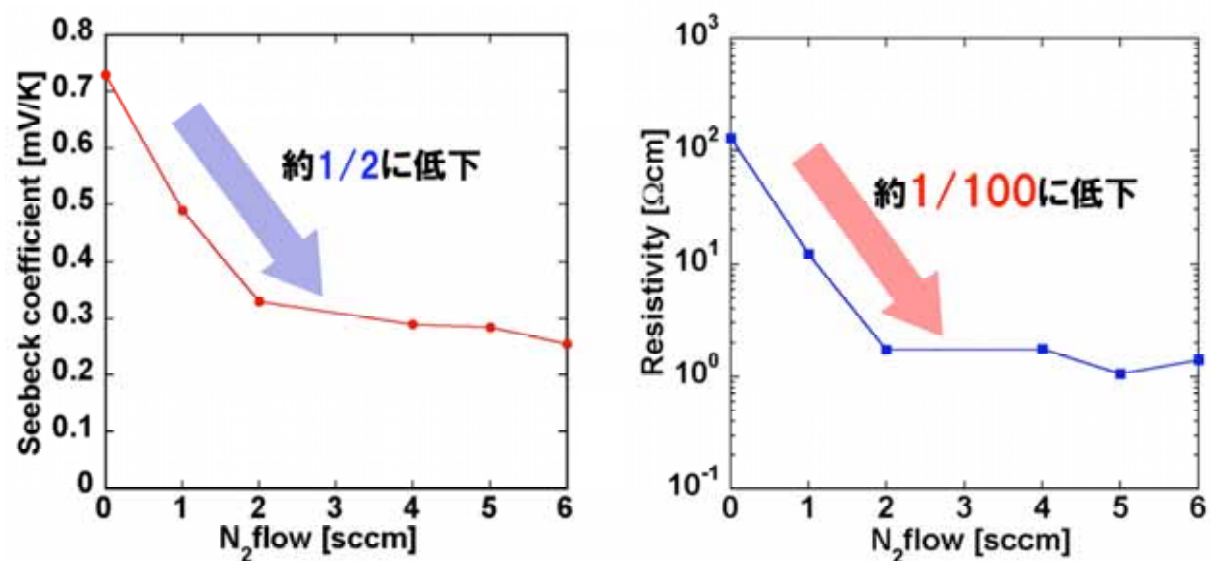


図5 酸素のみで作製した薄膜のゼーベック係数、抵抗率

酸素流量を 15sccm に固定し、窒素流量を変化させ作製した薄膜は、窒素流量を増やしていくとゼーベック係数、抵抗率ともに減少し、窒素流量が 2sccm あたりからそれ以上窒素を混入してもほぼ同じ値となった。また、酸素のみと比較してゼーベック係数は約 1/2 になってしまったが、抵抗率が約 1/100 にまで低下した。

### 4.3 パワーファクタ

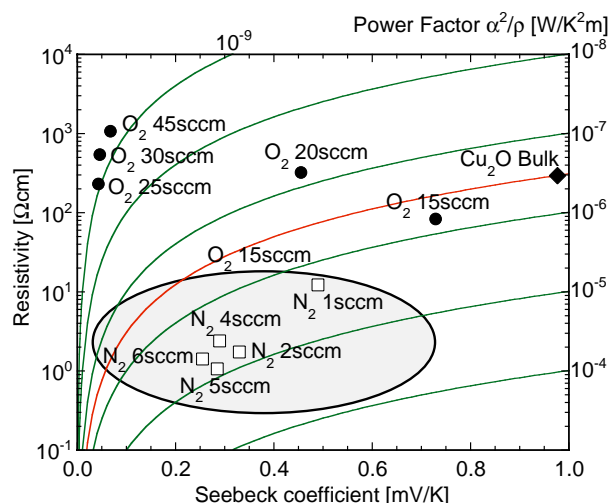
上記の各条件で作製した薄膜のゼーベック係数、抵抗率からパワーファクタを算出し、まとめたものを図6に示す。

X線回折で見られたとおり、酸素流量が15sccmの場合、Cu<sub>2</sub>Oの他にCuOができてしまいペルチェ素子としての性能はほとんどない。

Cu<sub>2</sub>Oのみ生成される酸素流量15sccmのときでは、Cu<sub>2</sub>Oバルクと同等の性能をもった薄膜ができたといえる。

また、酸素と共に窒素を混入し成膜した薄膜では、Cu<sub>2</sub>Oバルクの約50倍のパワー

ファクタをもち、窒素を入れることによりペルチェ素子としての性能が大幅に改善された。



### 5. まとめ

今回の実験では、反応性イオンプレーティング法により酸化銅薄膜を作製した。作製した薄膜のX線回折の結果より、成膜時の酸素流量を調節することによりCu、Cu<sub>2</sub>O、CuOを作り分けることができることがわかった。

作製した薄膜のゼーベック係数、抵抗率をそれぞれ測定した結果、酸素のみで作製したものは酸素流量15sccmのとき、ゼーベック係数0.7mV/K、抵抗率130Ωcmと作製した膜の中で最も良い値を示した。

また測定された抵抗率は他の方法で作製されたCu<sub>2</sub>O薄膜の値とほぼ一致した。

酸素と共に窒素を入れ作製した薄膜については、酸素のみのものと比較し抵抗率が約1/100になり、パワーファクタは約50倍に改善した。

### 6. 今後の展望

今回の実験で、成膜時の酸素流量を調節することによりCu<sub>2</sub>O膜を作製することができたが、その際他の条件は操作していなかった。そこで、今後の成膜では高周波出力、成膜速度等の成膜条件も操作して、より良い質の酸化銅薄膜を作製していく。

また、今回酸素と共に窒素を入れ成膜したところ抵抗率が大幅に低下した。これは窒素を導入することにより、窒素がアクセプタとして働き、キャリア密度が上昇したため抵抗率が低下したと考えられる。今後は更なる抵抗率改善のため、ガスではなく銅と一緒に不純物を蒸発させることによるドーピングなどを検討している。

### 謝辞

本研究の遂行に当たり酸化銅薄膜の作製及び測定にご協力いただいた埼玉県産業技術総合センターの黒河内昭夫氏、森田寛之氏、和田健太郎氏に心から感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] S. Ishizuka, T. Maruyama and K. Akimoto : Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) L786
- [2] N. Tabuchi and H. Matsumura : Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) 5060