

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 20日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560347

研究課題名（和文） ダイヤモンドナノ粒子を用いた高性能電界放射電子源の研究

研究課題名（英文） High Efficiency Field Electron Source Using Diamond Nanopowders

研究代表者

吉本 智巳 (YOSHIMOTO TOMOMI)

東洋大学・理工学部・教授

研究者番号：60230819

研究成果の概要（和文）：ダイヤモンドナノ粒子を用いて電界放射電子源を作製した。この電界放射特性を調べたところ、電子源の重要な特性の一つである放射電流が流れ出す閾値電圧は、超高真空中の熱処理により変化した。これは熱処理により表面状態が変化したものと考えられる。また、熱電子放射を測定し、ダイヤモンドナノ粒子の仕事関数を測定した。その結果、仕事関数は1.87eVと他の半導体や金属と比較して非常に低い値を得た。これより、ダイヤモンドナノ粒子は電界放射電子源材料として有望であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：The field emitters consisted of diamond nanopowders with sharp edges were fabricated and their field emission properties were investigated. Threshold voltage at which the emission current begins to flow is one of the most important parameter of the field emitter. The threshold voltage of fabricated emitters depended on the annealing temperatures. The origin of the phenomena was thought to be that the surface condition of the diamond nanopowders was changed by the annealing. The work function of the diamond nanopowders estimated by Richardson-Dushman plots was 1.87 eV. Since this value was much smaller than that of the conventional semiconductors and metals, the diamond nanopowders was good candidate for the material of field emitters.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：電界放射，ダイヤモンド，微粒子，仕事関数

## 1. 研究開始当初の背景

電界放射電子源の応用範囲は幅広く、特に近年では電界放射型平面ディスプレイ(FED)

をはじめ、液晶バックライト用の電界放射型平面ランプなどへの応用が考えられている。これらは、次世代ディスプレイおよび光源と

して多に期待されているが、低電圧で安定な動作をする電界放射電子源の開発が実用化のボトルネックになっている。これを解決する一つの方法に、電界放射電子源に『表面のポテンシャル障壁が低い材料』を用いることがあげられる。これらの材料は電子親和力が小さいため、電子源表面でのポテンシャル障壁が低く、電子を真空中に取り出すことが容易となる。この様な要求を満たす材料の一つとしてワイドバンドギャップ材料であるダイヤモンドがあげられる。また、この材料は物理的・化学的安定性に優れているので電子源の長寿命化が期待でき、さらに放射電流の安定化にも寄与できると考えられる。さらに、ダイヤモンドを構成する炭素は地球上に無尽蔵であり、廃棄する際の環境負荷が小さいことも現在の社会的要請に合致している。

しかし、ダイヤモンドは化学的に非常に安定なため、先端が鋭く尖った電界放射電子源への加工(通常電界放射電子源の構造)が困難であることが実用化に向けての障害の一つと思われる。

## 2. 研究の目的

我々は炭素系ワイドバンドギャップ材料であるダイヤモンド等の電子源材料としての特長を活かし、かつ製作プロセスの単純化を検討してきた。ダイヤモンドのナノメートルオーダーの微粒子をSEMで観察したところナノ粒子のエッジそのものが通常電界放射電子源と同様に鋭く尖っていることがわかった。我々はナノ粒子そのものを電界放射電子源として利用できると考え、電界放射を測定し、通常電界放射電子源アレー(FEA)と同程度以上の性能を有する明らかにした。この結果から、ダイヤモンドナノ粒子そのものを電界放射電子源に利用することにより、低電圧で動作し放射電流の安定した

電子源の実現が可能と考えるに至った。ナノ粒子を電子源に用いることより、製作コストの低減化に大きく寄与できるものとする。

本研究では、ダイヤモンドのナノ粒子を用いた低コストで低電圧動作が可能な電界放射電子源の開発を目的とした。具体的には、ダイヤモンドのナノ粒子を用いて電界放射電子源を作製し、超高真空中での熱処理による特性改善、および熱電子放射による仕事関数の評価を目的に実験を進めてきた。

## 3. 研究の方法

図1に示すようにTa線(直径:0.5mm)を用いて長さ $l=13\text{mm}$ 、直径 $\phi=3.5\text{mm}$ のコイルを作製した。熱電対をコイルに点溶接し、電子源の温度を測定できる構造とした。このコイル上部にアクアタグを塗布し、ダイヤモンドナノ粒子を表面の一部( $13\text{mm}\times 3\text{mm}$ )に付着させたものを電子源とした。ダイヤモンドナノ粒子はTOMEI DIA製MD1100を用いた。このナノ粒子のSEM像を図2に示す。先端が鋭く尖っており電界放射電子源として機能することが分かる。陽極は平面構造で電極間距離は14mm程度とした。排気はターボ分子ポンプで行い、測定中の圧力は $10^{-5}\text{Pa}$ オーダーを維持した。陽極に正電圧を印加し、電界放射電流は電子源側で測定した。コイルの通電加熱によりダイヤモンド粒子を超高真空中で加熱し、室温に戻してから電界放射特性を調べた。

次に同構造の電極を用いて、超高真空中にて熱電子放射特性をしらべた。熱電子放射電流は陽極側で測定し、リヤードソン・ダッシュマンプロットに変換し、仕事関数を算出した。

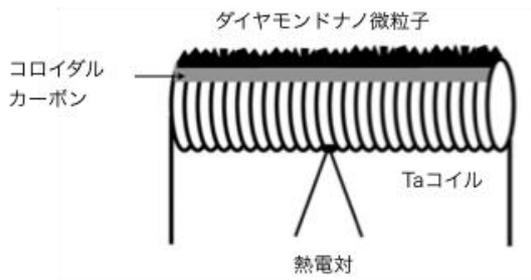


図1 電極構造

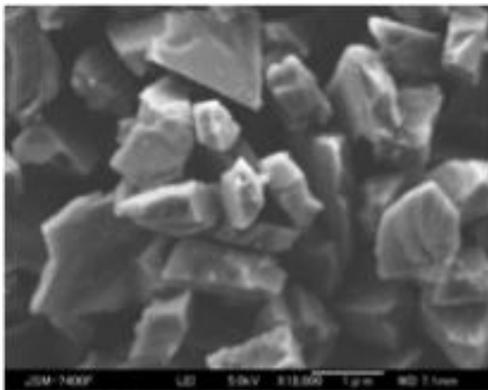


図2 ダイヤモンドナノ粒子のSEM像

#### 4. 研究成果

超高真空中での熱処理により、電界放射特性は大きく変化した。これは、熱処理によりダイヤモンド表面の表面状態が変化したことに起因するものと考えられる。図3に電界放射特性のなかで特に重要な閾値電圧の熱処理温度依存性を示す。閾値電圧は $1\mu\text{A}$ の電界放射電流が得られた電圧と定義した。これより、熱処理温度が $600^\circ\text{C}$ 付近で閾値電圧が最小になることが分かる。超高真空中の熱処理はダイヤモンドナノ微粒を用いた電界放射電子源の閾値電圧を低下させるために有効であることが分かった。

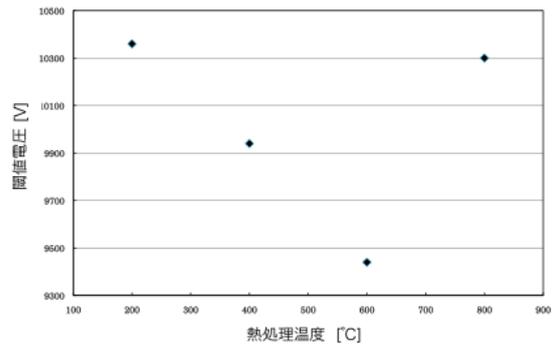


図3 閾値電圧の熱処理による変化

次に電界放射電子源材料としての重要なパラメータである仕事関数を熱電子放射から求めた。電界放射現象を記述すFowler-Nordheimプロットの傾きから仕事関数を見積もれるが、電子源の先端形状を詳細に評価する必要があり、測定に正確性が保証できない。熱電子放射現象を用いる場合は、形状因子に影響されなく、正確な仕事関数が測定できる。

図4に作製した電子源構造からの熱電子放射特性(リチャードソン・ダッシュマンプロット)を示す。印加電圧は $1\text{kV}$ 一定とした。このプロットの特性的傾きより算出された仕事関数は $1.87\text{eV}$ であった。印加電圧が $1\text{kV}$ であることから、この値はショットキー効果および電界の浸透効果により、ゼロバイアス時の仕事関数より幾分低い値になっている。しかし、印加電圧がない場合の仕事関数は $2\text{eV}$ を超えないものと考えられる。一般的な金属や半導体の仕事関数は $4\text{eV}$ 程度であることから、ダイヤモンドナノ粒子の仕事関数は非常に小さいことが分かる。この結果から、ダイヤモンドナノ粒子は、電界放射電子源として有望な材料であることが分かった。

本研究ではダイヤモンドナノ粒子を金属基板等に密着(固定)化するところまでは至っていない。電界放射電子源材料として有望なダイヤモンドナノ粒子を用いた高性能電

界放射電子源の実現には、この密着化技術が必要不可欠であり、今後の課題としてあげられる。

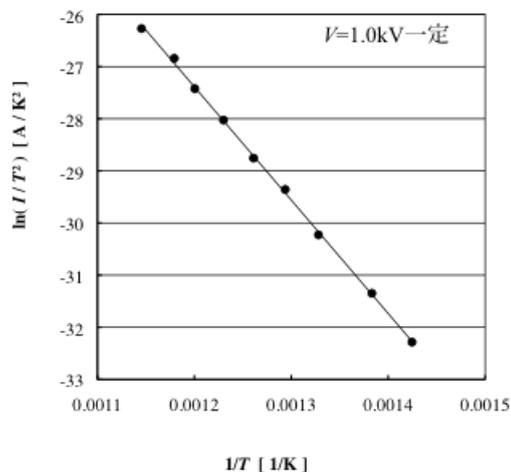


図 4 ダイヤモンドナノ粒子の熱電子放射特性 (リチャードソン・ダッシュマンプロット)

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① T. YOSHIMOTO, T. IWATA, "Low-Temperature Thermionic Emission from Diamond Micropowders with Sharp Edges", IEICE Tran. Electron., Vol. E96-C, No. 1, IEICE Tran. Electron., Vol. E96-C, No. 1, p. 132-134 (2013) 【査読有】

- ② T. YOSHIMOTO, T. IWATA, "Improvement of Turn-on Voltage by Thermal Annealing of a Tungsten Single Emitter Coated with a Carbonaceous Film Deposited in Liquid Methanol", IEICE Tran. Electron., Vol. E94-C, No. 12, p. 1913-1916 (2011) 【査読有】

[学会発表] (計 2 件)

- ① 吉本智巳, 岩田達夫, "ダイヤモンドおよび炭化珪素微粒子からの熱電子放射に

よる仕事関数の測定", 平成 23 年度 工業技術研究所講演会 (東洋大学) p-7 (2012 年 2 月 22 日)

- ① 吉本智巳, 佐藤和喜, "ダイヤモンド微粒子からの熱電子放射", 第 51 回真空に関する連合講演会 (真空・表面科学合同講演会), 大阪大学, 5P-048 (2010 年 11 月 5 日)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

吉本 智巳 (YOSHIMOTO TOMOMI)  
東洋大学・理工学部・教授  
研究者番号: 60230819

##### (2) 研究分担者 (0)

##### (3) 連携研究者 (0)