

氏名(本籍)	Chiu Ta-Wei (台湾)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博甲第 9676 号
学位授与年月日	令和 2 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	Synthesis and Field Emission Properties of Transition Metal Carbide Nanowire (遷移金属炭化物ナノワイヤーの合成と電界放出に関する研究)

主査	筑波大学教授(連係大学院)	博士(理学)	唐捷
副査	筑波大学教授	工学博士	松石清人
副査	筑波大学教授(連係大学院)	博士(工学)	武田良彦
副査	筑波大学准教授(連係大学院)	博士(工学)	橋本綾子

論文の要旨

本審査対象論文では、遷移金属炭化物ナノワイヤ(HfC および ZrC)の合成と冷陰極型電子源としての性能を評価し、さらに表面処理により ZrC ナノワイヤ冷陰極電子源の性能と安定性を改善できることを示している。

第1章では、材料の電界放出と熱電子放出現象のそれぞれの特性及びメカニズムを紹介し、電界放出に基づく冷陰極電子源の利点を示している。さらに、この章では、電子源材料とその問題に関する現在の研究もまとめている。そして、従来の冷陰極型電子源の問題を解決し、さらにその性能を向上させるために、改善策が提案されている。この論文では遷移金属炭化物ナノワイヤーを基にした、高性能の冷陰極型電子源の研究を行っている。

第2章では、合成した遷移金属炭化物ナノワイヤー材料の構造解析手法及び冷陰極型電子源の作成と性能評価手法について述べている。

第3章では、HfCナノワイヤーの成長の条件・メカニズム及び電界放出特性を示している。HfCナノワイヤーは、融点と硬度が高く、化学的安定性が良く、アスペクト比が高いため、冷陰極電子源として有望な材料とされている。理論的には、冷陰極電子源の性能は、材料の形態に密接に関連している。この章では、HfCナノワイヤーの形態を最適化するために、化学気相成長の実験パラメータがナノワイヤーの形態に与える影響が検討された。また、電界蒸発によって、鋭い HfC ナノワイヤーを作製することによって、電流の集中を実現し、低い引き出し電圧と高い電流密度が得られた。これに

よって、冷陰極電子源として優れたポテンシャルを持っていることが示された。

第4章では、ZrC ナノワイヤー成長の条件・メカニズム及び電界放出特性が検討された。ZrC は、低仕事関数、高強度、優れた化学的安定性などの多くの魅力的な特性を持つ遷移金属炭化物の一種であり、電界放出用途の有望な材料と考えられている。さらに、ZrC は HfC よりコストが低いいため、商用利用の可能性が高くなる。ZrC 冷陰極電子源を作製する通常の方法では、ZrC 単結晶を電気化学エッチングによって半径数百ナノメートルの円錐状の先端に成形する。しかしながら、従来のこの冷陰極電子源は、大きな放出面積および大きい半径のために、高い引き出し電圧や低い電流密度などの欠点を有する。この課題を解決するため、この論文では、ZrC ナノワイヤーを用いて ZrC ナノワイヤー冷陰極型電子源を作製した。さらに、ZrC ナノワイヤーの先端を電界蒸発により鋭くし、高電流密度を実現した。この章では、冷陰極型電子源としての ZrC ナノワイヤーの可能性が示されている。

第5章では、表面コーティングによる ZrC ナノワイヤー冷陰極型電子源の特性性能と電流安定性のさらなる向上が検討されている。一般的に、残留ガス分子の吸着と脱着によって引き起こされるフリッカーノイズと電界放出電流の減衰は、冷陰極型電子源にとって深刻な問題である。この論文では、この問題を解決するため、ナノワイヤー表面が安定層によりコーティングされ、ガス分子の吸着が抑制され、放出電流安定性が向上され、これによって ZrC ナノワイヤー冷陰極型電子源の性能が改善されることが示された。この章では、ZrC ナノワイヤーの電界放出性能に対する不活性表面の影響をまとめ、表面処理が電子源の電流不安定性の問題に対処する有効な方法であることを示している。さらに、DFT シミュレーションと電界放出の結果により、ZrC の酸化が材料の仕事関数を低減し、電子源の性能をさらに向上させることがわかった。

第6章では、これまで述べた HfC および ZrC ナノワイヤーの研究をまとめ、今後の展望について述べられている。この論文で合成された酸化 ZrC ナノワイヤーでは、低引き出し電圧、かつ高電流密度と安定した電界放出電流が示された。高い電界放出性能を備えた酸化 ZrC ナノワイヤーは、将来の冷陰極型電子源に適した選択肢になる可能性があるとして述べられている。

審 査 の 要 旨

[批評]

この論文で報告された研究は、遷移金属炭化物ナノワイヤー (ZrC および HfC) の冷陰極型電子源としての可能性を評価した。材料の仕事関数が低く、電界放出面積が小さく、アスペクト比が高いため、電子源は高い電流密度と低い引き出し電圧を示した。さらに、この論文では、表面コーティング (グラフェンまたは ZrC_xO_y) によって ZrC ナノワイヤー電子源の電界放出性能がさらに向上することも報告している。この研究によると、化学的に不活性なコーティングは、残留ガス分子の吸着と脱着によって引き起こされる影響を大幅に低減し、電界放出電流の安定性を向上させることができる。さらに、酸化後、表面に ZrC_xO_y の形成により、ZrC ナノワイヤーの仕事関数と引き出し電圧が低下することが分かった。ZrC ナノワイヤー冷陰極型電子源と比較して、酸化された ZrC ナノワイヤー冷陰極

型電子源は、低真空レベルでより優れた電界放出安定性を示し、引き出し電圧も低くなっている。この研究は、酸化された ZrC の冷陰極型電子源としての大きな可能性を実証した。この研究は冷陰極型電子源の研究において重要な学術的貢献を果たした。したがって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な学術的価値を持つものと認める。

〔最終試験結果〕

令和 2年 7月30日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。