

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13306 号
------	---------------

氏 名 佐藤 大樹

論 文 題 目

半導体フォトカソードの高量子効率化、高耐久化による電子ビーム技術の刷新

(Innovation of Electron Beam Source by Semiconductor Photocathode with High Quantum Efficiency and High Durability)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	天野 浩
委員	名古屋大学	教授	五十嵐 信行
委員	大阪大学	教授	保田 英洋
委員	名古屋大学	准教授	本田 善央
委員	名古屋大学	客員准教授	西谷 智博

論文審査の結果の要旨

佐藤大樹君提出の論文「半導体フォトカソードの高量子効率化、高耐久化による電子ビーム技術の刷新」は、固体からの熱電子放出、電界放出に続く第三の電子放出機構として光電子放出を用いた半導体フォトカソードについての議論を展開している。シリコン集積回路製造への応用では、集積度の増加とともにLSI製造スループットが低下している描画および検査装置において、従来の熱電子放出電子銃および電界放出電子銃の性能を凌駕する高輝度化及びマルチビーム化が容易である点、透過電子顕微鏡への応用に関しては、高輝度かつ超短パルス化により、クライオ顕微鏡において鮮明なスナップショット撮像が可能になる点で大きな期待のかかる、負の電子親和力(Negative Electron Affinity: NEA)表面における光励起による電子放出を利用した半導体フォトカソードにおいて、特に小型半導体レーザで光励起が可能で長寿命が期待できるワイドギャップ半導体であるInGaNのNEAフォトカソードの社会実装を目指した研究成果をまとめている。

第1章では、これまでの電子源の開発の歴史を紹介し、現状の熱電子放出型電子銃や電界放出型電子銃を用いた場合の輝度、マルチビームの適用性、高輝度パルス駆動における限界、および第三の電子源としてのフォトカソードの必要性および次世代電子銃としての要求される性能と具体的・数値的な研究目標、および本論文の構成を説明している。

第2章では、NEA半導体フォトカソードからの光電子生成原理をもとに、LSI検査装置に应用する場合に期待される走査電子顕微鏡のプロープ電流を見積り、既存のショットキー型電子銃に対して一桁以上上回ることができることを示している。

第3章では、本研究の半導体フォトカソードの開発、評価に用いた装置NPeSIIの詳細、特に光励起用光学系の詳細を紹介している。

第4章では、量子効率を高めるためのp型InGaNフォトカソードの効率の膜厚依存性を正面照射と背面照射の両面から理論的に計算を行い、次に量子効率の励起波長依存性、励起パワー密度依存性の実験結果をまとめ、理論計算との結果を比較して、正面照射、背面照射ともに特に厚膜における急激な効率低下の原因を、InGaN内の結晶欠陥の発生による少数キャリア寿命の減少によるものと考察している。

第5章では、走査電子顕微鏡のプロープ電流増加による高電流密度化を実現するために、励起光パワー密度依存性を評価した結果をまとめ、励起密度の増加に伴い量子効率が低下する原因について、光励起密度の増加に伴い表面に拡散した電子が溜まってポテンシャルが持ち上がり、光電子の効率が低下する表面光起電力効果の可能性を示した。一方で従来の電界放出型電子銃と比較して2桁以上の輝度が得られる可能性を指摘している。

第6章では、産業利用で要求される安定化と長時間稼働を実現するために、光電流値をモニターし、励起用レーザにフィードバックするシステムを用いた光電流の安定化に取り組んだ結果をまとめている。また、一定電流発生時の連続稼働時間と量子効率の寿命をまとめている。さらに、連続稼働時間24時間以上を目標として、量子効率の寿命と加熱温度の関係を検討している。特にカソード温度と寿命の関係に着目して実験を行い、150°Cの加熱により、目標を上回る27時間もの高耐久化が可能であることを示している。

第7章では、各章ごとに本研究の成果をまとめ、特に20マイクロアンペアで27時間という、従来の電界放出型電子銃の10倍以上の寿命を達成したことをアピールし、今後の応用の展開について私見を述べている。

これらの成果は、学術上のみならず産業上も極めて顕著であり、本論文の提出者である佐藤大樹君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。