

「空間光変調駆動による電界放射型形状・強度変調電子ビーム形成の基盤技術の確立と応用に関する研究」

[1] 組織

代表者：嶋脇 秀隆

(八戸工業大学)

対応者：三村 秀典

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

長尾 昌善 (産業技術総合研究所)

細田 誠 (静岡大学電子工学研究所)

藤田 和久 (静岡大学電子工学研究所)

根尾 陽一郎 (静岡大学電子工学研究所)

三村 秀典 (静岡大学電子工学研究所)

[2] 研究経過

電子源から予め形状整形・強度変調された短パルス電子ビームを発生できれば、マスクレスかつ高精度な強度変調 X 線の発生が期待され、リアルタイムで制御することで、人の動き（呼吸、脈動など）に追従可能となる。この種の電子源として、これまでに、金属フォトカソードを用いた強度変調電子ビームを発生させる取り組みが行われているが、金属の場合、優れた高速性を有するが、電子を発生させるためには高エネルギー（仕事関数以上）の紫外線レーザーや高パワーレーザーが必要となり、光学系の損傷が避けられない。また、量子効率も低いため、電流量が小さいなど課題がある。本研究では、半導体の光電子機能性に着目し、空間光変調素子を用いて整形した光ビームによる半導体電界放射型電子源アレイ (FEA) のダイナミック制御技術の確立を目的としている。

本年度は、根幹素子となる金属と比べて量子効率の高い p 型半導体エミッタの光支援による変調技術の確立を目指して研究を行った。半導体 FEA の場合、バンドギャップ以上の低エネルギーの可視光レーザーを利用できるため、UV レーザに比べて安価であり、光学系に与える影響も非常に少ない。また、電界放射型であるため、低エネルギー分散で指向性に優れ、ビーム源を著しく小型化できる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

p 型半導体エミッタの場合、エミッタ先端の空乏

層内で生成された光励起電子は、内部電界によりドリフト速度で移動するが、空乏層外で光励起された電子は、拡散で移動するため応答速度を律速する。高速な光応答を実現するためには、空乏層外での電子の励起を極力抑制する必要がある。このため、本研究では、エミッタ先端以外を遮光した極微ゲート孔を有するボルケーノ構造シリコンフィールドエミッタアレイ (Si-FEA) (図 1) を開発し、レーザー誘起電界電子放射による変調電子ビームの発生法について検討している。これまでに、ピコ秒オーダーの光応答性を有することを明らかにしている。

波長 633nm および 405nm のレーザー照射下におけるエミッション電流の光パワー依存性を図 2 に示す。ここで、633nm 照射においては 1600 ティップ、405nm 照射では 100 ティップの FEA 素子を用いた。いずれの波長に対しても、エミッション量は入射パワーに対して線形に増大している。このことは、エミッタ先端の空乏層内で価電子帯から伝導帯に光励起された電子が電界放射されていることを示すとともに、光強度によりエミッション量を変調可能であることを示している。

エミッション電流の偏光依存性を図 3 に示す。エミッション電流は、偏光角 $\theta=0^\circ$ 、すなわち、偏光ベクトルがエミッタ軸と平行 (p 偏光) のとき最大で、回転に伴い減少していき、 $\theta=90^\circ$ 、すなわち偏光ベクトルがエミッタ軸と垂直 (s 偏光) のとき最小となっている。偏光角 θ に対するエミッション電流の変化は、 $\cos^2 \theta$ 曲線によく一致している。レーザー強度 I は光電界 F_{laser} の 2 乗に比例するので、エミッション電流は、 $(F_{laser} \cos \theta)^2$ 、すなわち、p 偏光強度に依存することを示している。今回の実験では、レーザーパワーが mW 程度と小さいので、光電界放出は起こらない。したがって、シリコンフィールドエミッタからのレーザー誘起による光支援電界放射電子は、メタルエミッタの場合と同様、p 偏光によって励起された表面電子に起因することを示している。

以上より、レーザー照射により半導体エミッタからの変調電子ビームの発生が可能であることを明らかにした。現在、シリコンよりも高速で高量子効率 (大電流放出) の期待できるアルカリ光電面等の適用性についても検討中である。今後、空間変調素子によ

る駆動法について取り組んで行く予定である

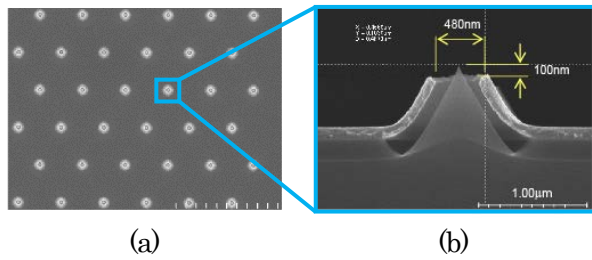


図1 ボルケーノ構造Si-FEAのSEM像(a)および
1 エミッターセルの断面SEM像(b)

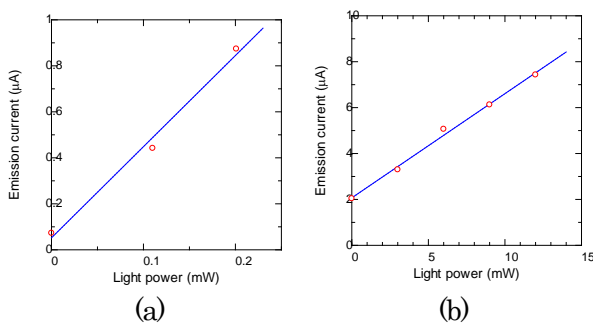


図2 エミッション電流の入射光パワー依存性
(a)波長 633nm、 (b)波長 405nm

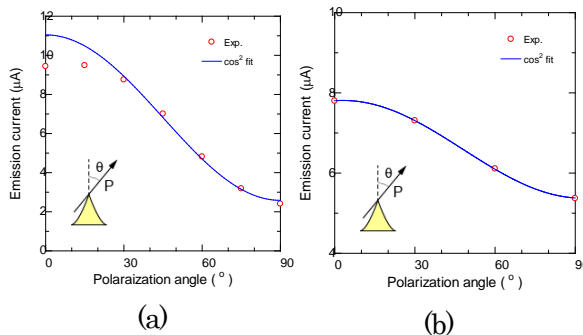


図3 エミッション電流の偏光角依存性
(a)波長 633nm、 (b)波長 405nm

(3-2) 波及効果と発展性など

これまで半導体エミッターからのレーザ誘起による電子放出プロセスに関する研究は、金属エミッターと比較して光感受性に優れているにもかかわらず、ほとんど行われていなかった。微小電子源のイメージングデバイス応用上、冷陰極アレイのスイッチング速度の高速化、ビームの形状・強度変調技術の確立が重要となる。本プロジェクトで得られた成果は、2次元配列空間光変調素子により半導体エミッター

レイからの放射ビームパターン・強度を高速に変調可能であること示唆するものであり、これまで課題となっていた微小電子源におけるエミッターゲート間の容量問題を解決する必須のキーテクノロジーとして、今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

- (1) H. Shimawaki, *et al.*, Tech. Digest of the 30th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Regensburg, Germany 2017.7, pp. 286-287.
- (2) 嶋脇秀隆, 真空, Vol. 60, No. 1, pp. 8-12, 2017.
- (3) 嶋脇秀隆, 他, 信学技報, Vol. 117, No. 268, ED2016-46, 2017.10.
- (4) 嶋脇秀隆, 第65回応用物理学会春季学術講演会予稿集, 19p-C102-7, 2018. (招待講演)

出張報告
該当なし