

2001

「テラヘルツ波光源の高出力・超広帯域化のためのバンチビーム形成技術の確立およびイメージングデバイス応用に関する基盤研究」

[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

近年、サブミリ波・テラヘルツ波帯の電磁波のイメージレスのセンシング・診断利用に対する期待から、ポータブルで高出力・広帯域・周波数可変なサブミリ波・テラヘルツ波光源の開発が希求されている。現在、この種の光源としては、固体の非線形光学効果や差周波光混合技術を用いたテラヘルツ波発生方式が主流であるが、パルス発振に限られ、時間平均出力が著しく小さい、狭帯域であるなど、応用上課題となっている。電子ビームと高周波回路を結合させて電磁波の発生・増幅を行う TWT (進行波管) などの高周波真空デバイスは、古くから研究開発が行われ、パルス・連続発振が可能、高出力、広帯域・周波数可変等の優位性を持っている。しかしながら、電子源として熱カソードを用いていること、直流状電子ビームを密度変調ビーム (バンチビーム) に変換するための空間が不可欠であることなどから、大型で汎用性にかける。熱カソードを冷陰極に置き換え、かつ、電子源から直接周波数変調された短バンチビームを発生することが出来れば、ヒーターおよびドリフト空間が不要となるため、デバイスの著しい小型化・軽量化が可能となるのみならず、バンチビームのコヒーレント効果により、飛躍的な高出力化・高効率が可能となる。このような研究背景の基、高繰り返しパルスレーザ支援による微小冷陰極からの高速変調電子ビームの発生に関する変調技術およびイメージング用高出力・広帯域・周波数可変なテラヘルツ波光源の実現に向けた基盤技術の確立が急務な課題となっている。本年度では、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高速変調技術の確立を目指して研究を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

p 型半導体エミッタの光支援による変調周波数の上限は、原理的にはバルク内の光励起電子の走行時間幅 (TTS) で決まる。高速化のためには、バルク内の拡散電子の生成を抑制してエミッタ表面の空乏層内で光励起キャリアを生成し、内部電界により飽和速度まで加速し真空中に放射させる必要がある。このため、本研究では、サブナノ秒以下の応答性を評価できるシステムを開発するとともに、エッチバック法を用いて、エミッタ先端以外を極微開口のゲート電極により遮光可能な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) を開発し、光応答性について検討している。本製作プロセスにより、ゲート-エミッタ間の絶縁膜厚とレジスト厚膜のエッチバック時間によりゲート開口径、エミッタ先端高さをナノメートル単位の高精度で調整できることを確認した (図 1)。本研究では、ゲート開口径 480nm、エミッタ先端露出高さ 50nm の 100tip アレイを用いて、レーザパルス光照射 (波長 405nm、繰り返し周波数 1MHz、rise time <1ns) に対する電子放射特性、光応答性を評価した。

光照射下における Si-FEA の電界電子放射特性は、エミッション量が、光入射パワーに対して線形に増大する特性を示しており、価電子帯から伝導帯に光励起された電子が直接電界放射されていることを確認した。

デューティ比 50 % のレーザパルス照射に対するエミッション電流の光応答性を評価した結果、光パルス照射により光パルスの形状・周期に同期したパルス形状のエミッション電流が発生に成功した。さらに、オシロスコープによる時間応答観察の結果、エミッション電流パルスの立ち上がり・立ち下り時間は、それぞれ 600ps と見積られた (図 2)。この値は、照射した光パルスの立ち上がり時間に一致しており、エミッタ先端の空乏層内で発生した光励起電子が直接真空中に放射されていることを示唆するものである。以上より、光パルス照射により FEA

からの高速変調電子ビーム（短バンチ電子ビーム）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金属や化合物半導体材料のフォトエミッターへの適用性についても検討中である。今後、電子放射特性、光応答性等について明らかにしていく予定である。

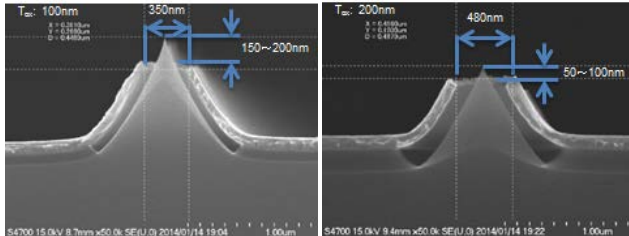


図1 完全自己整合プロセスにより製作したボルケーノ構造 Si-FEA の断面 SEM 像

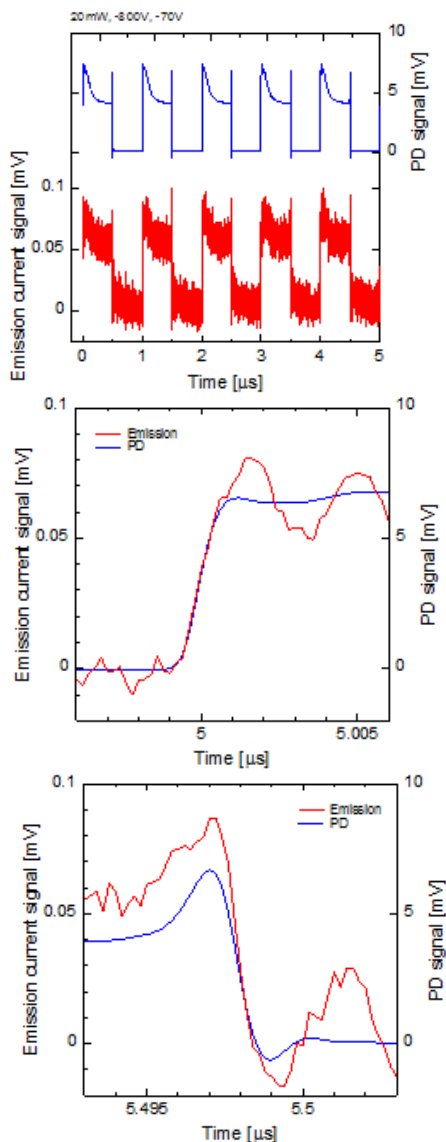


図2 光パルス照射に対するエミッション電流の応答性

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究成果は、FEA から高速変調電子ビームを発生するにあたり、光パルスにより駆動することによってパルス周期に同期して高速かつ任意に変調できることを示唆しており、FEA を用いた THz 波光源を開発するうえで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.*, Appl. Phys. Lett., 109, 183106, 2016.
- (2) H. Shimawaki, *et al.*, Tech. Digest of the 29th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Vancouver, British Columbia, Canada, 2016.7, pp. 13-14
- (3) H. Shimawaki, *et al.*, Proc. of the 6th Japan-Korea Vacuum Nanoelectronics Symposium, Hamamatsu, Japan, 2016.10, p. 20. (invited)
- (4) 嶋脇秀隆, 他, 信学技報, Vol. 116, No. 268, ED2016-46, 2016.10.
- (5) H. Shimawaki, *et al.*, Proc. the 10th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, 2017.1, I-04. (invited)

出張報告

氏名：嶋脇 秀隆
所属：八戸工業大学
期間：平成28年10月7～9日
用務先：電子工学研究所
用務内容：共同研究に関する研究打ち合わせ
主たる対応者：三村 秀典

氏名：嶋脇 秀隆
所属：八戸工業大学
期間：平成29年2月28日～3月3日
用務先：電子工学研究所
用務内容：共同研究に関する研究打ち合わせ、情報収集
主たる対応者：三村 秀典