

RF ガンシステムの汎用化と応用研究開発

研究代表者 鷲尾 方一
(先進理工学部 応用物理学科 教授)

1. 研究課題

非常に高度に制御された高品質な電子ビームは X 線レーザー (XFEL) の発振をもたらした。本プロジェクトでは高品質電子ビーム生成において最も重要な RF ガンシステムのより一層の高性能化とその応用研究を行う。本報告では電子を取り出すフォトカソードの開発と、応用としてテラヘルツ波生成研究に関して報告する。

2. 主な研究成果

我々が先駆的研究を継続しているレーザーフォトカソード RF ガンでは短パルス UV レーザーを半導体フォトカソード (CsTe) にタイミング良く照射することで 1 億個以上の電子を真空中に取り出す。一般に量子効率が高い (取り出せる電子数が多い) カソード材質ほど真空中に敏感で短寿命という課題を抱える。我々は最適なカソード蒸着レシピの探究を行うとともに、表面コーティングによる長寿命化を達成した。またテラヘルツ波生成においては電子ビームに空間的な構造を持たせ、周波数セレクトティブな高強度化に成功した。

2.1 CsBr コーティングによる CsTe フォトカソードの長寿命化

半導体カソードは金属カソードに比べ高い量子効率 (レーザー光子数に対する電子数) を有するが、超高真空 ($\sim 10^{-8}$ Pa) を要し、RF ガン内で容易に劣化するためその寿命は比較的短い。そのため我々は CsTe (セシウムテルル) カソードに CsBr (セシウムブロマイド) コーティングを施し、高耐久化、長寿命化を図った。概念図を図 1 に示す。

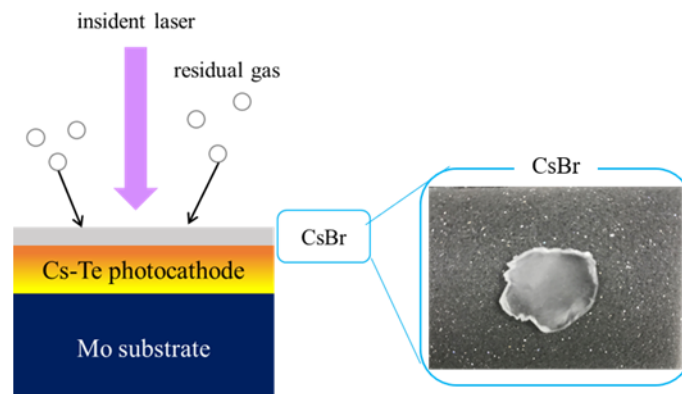


図 1 : CsBr コーティングによる CsTe フォトカソードの高耐久化

CsBr コーティングにより、量子効率が 1/e に減少するまでの寿命を大幅に伸ばすことに成功した。また蒸着方法を、従来の逐次的な蒸着（Te を蒸着した後に Cs を蒸着）から同時蒸着を採用することにより、量子効率を同等レベルに保持したまま寿命を長くすることにした。図 2 に逐次蒸着、同時蒸着の量子効率（Q.E.）と寿命の測定値を示す。

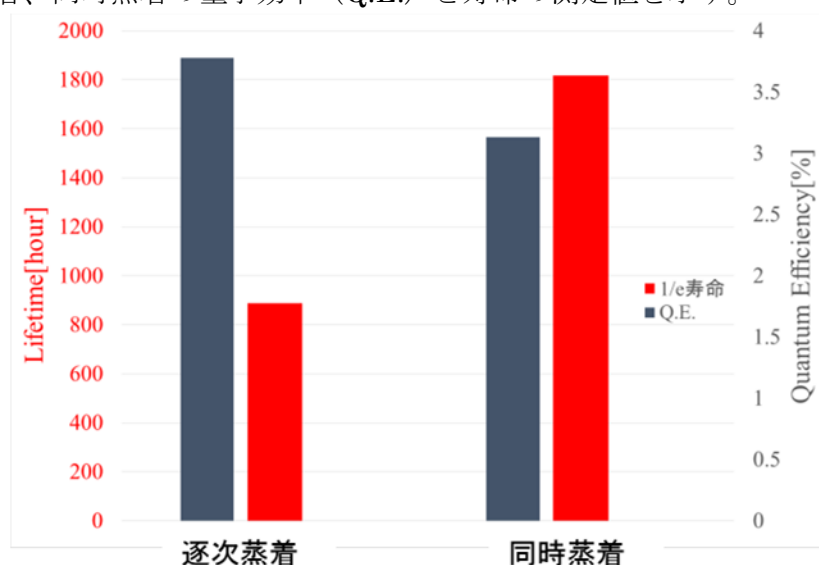


図 2：逐次蒸着と同時蒸着における量子効率と寿命の比較

測定された寿命は 1818.2 時間であり、2.5 ヶ月の運転に耐えうる長寿命なフォトカソード作成に成功している。

2.2 空間構造を付与した電子ビームによる準単色コヒーレントテラヘルツ波生成

周波数領域が 10^{12} 付近の電磁波はテラヘルツ波と呼ばれ、その生成、検出、応用の難しさから未踏領域と呼ばれる。我々は RF ガンシステムによって生成される高品質電子ビームに傾きを付与することでチェレンコフ放射によるテラヘルツ波生成の高強度化を実現している。本研究ではさらにスリットによってテラヘルツ波長オーダーの構造を持たせることで特定周波数を高強度に取り出すことに成功した。原理図を図 3 に示す。また電子ビームをスリットに通すことによる作り出される空間構造を図 4 に示す。

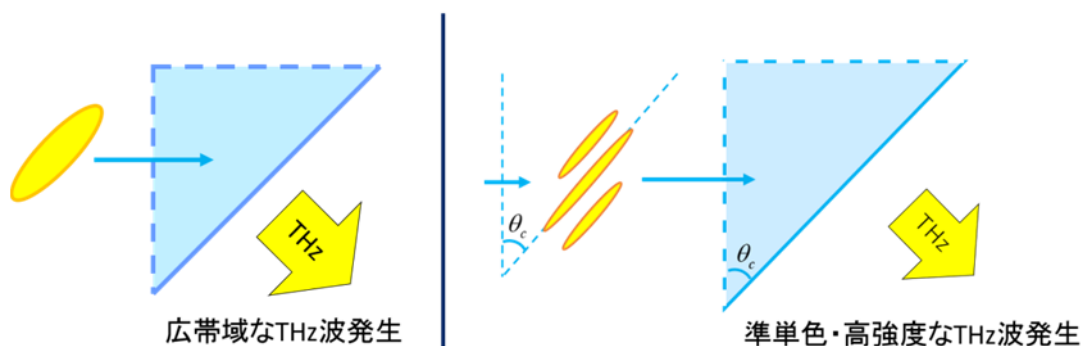


図 3：従来のテラヘルツ波生成（左）と空間変調電子ビームによるテラヘルツ波生成（右）

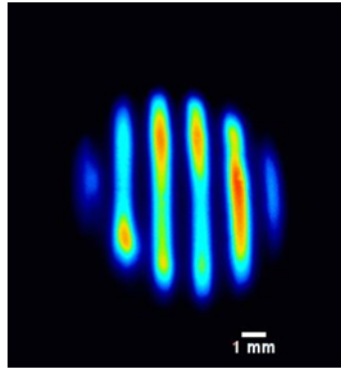


図 4：スリット通過後の電子ビームプロフィール

このように電子ビームの進行方向と垂直な方向に空間構造を持たせた電子ビームを作り出すことに成功している。これをさらに図 5 に示す高周波偏向空洞によって傾きを付与し、ターゲット媒質である TOPAS に照射することで、テラヘルツ領域のコヒーレントチェレンコフ放射を生成する。

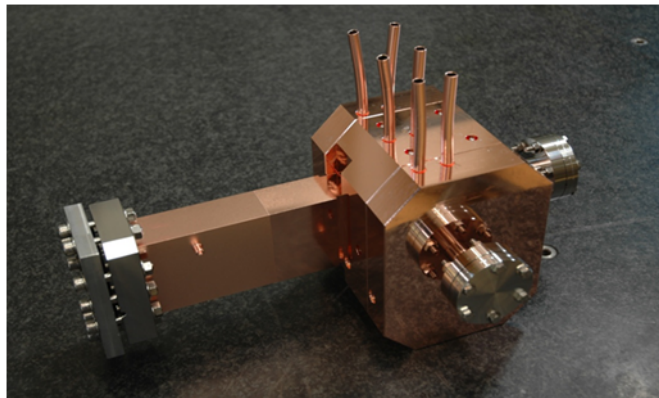


図 5：電子ビームの傾き制御用高周波偏向空洞

図 6 に示すように、スリットによって空間構造を持たせたことにより、特定周波数を増強することに成功した

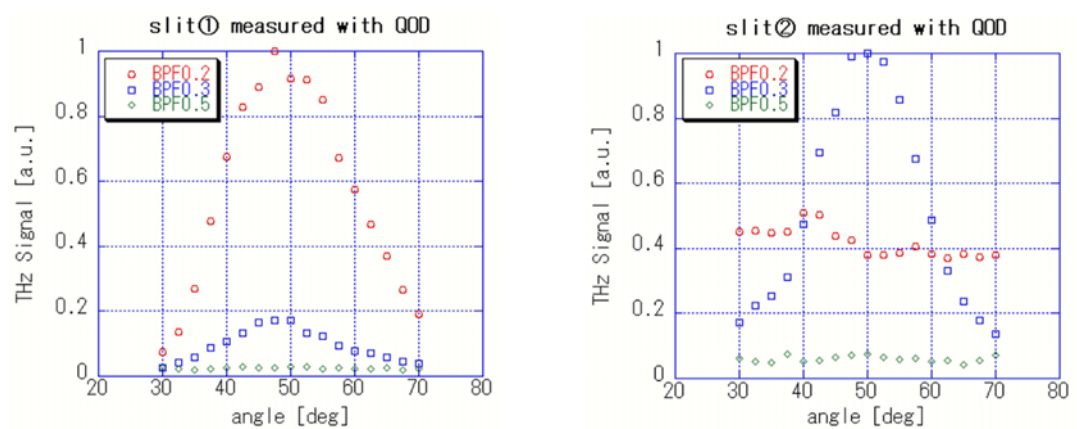


図 6：0.2THz の高強度化（左）と 0.3THz の高強度化（右）

図 6 の左右ではスリットの周期が異なるため、電子ビームの周期構造も異なり、異なる周波数のテラヘルツ波のみの高強度化に成功している。

3. 共同研究者

遠藤 彰（理工学研究所・客員教授）、浦川順治（理工学研究所・客員教授）

坂上 和之（高等研究所・准教授（現東京大学・主幹研究員））

4. 研究業績

4.1 学術論文

“Study on a long-life photocathode with an CsBr protective layer for an rf electron gun”
Hiroya Ono, Junya Miyamatsu, Tomoaki Tamba, Kazuyuki Sakaue, Masakazu Washio, Hokuto Iijima, Heishun Zen, *Japanese Journal of Applied Physics*, Accepted Manuscript online 8 April 2019.

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

ブラメルド真理 小型加速器を用いた高強度コヒーレント THz 光の生成 及び応用に関する研究 第 17 回放射線プロセスシンポジウム 最優秀賞 2018 年 11 月

蓼沼優一 電子ビームの傾き制御を用いたコヒーレント THz 放射の高度化に関する研究 第 15 回日本加速器学会 年会賞 2018 年 8 月

蓼沼優一 電子ビームの傾き制御を用いたコヒーレント THz 放射の高強度化に関する研究 第 55 回アイソトープ・放射線研究発表会 若手優秀講演賞 2018 年 7 月

4.5 学会および社会的活動

日本放射線化学会 副会長

日本放射線研究連合（JARR） 副会長

日本アイソトープ協会 理工ライフサイエンス部会委員

ラドテック研究会 幹事

RadTech Asia Organization, Vice-president

ビーム物理研究会 会長

5. 研究活動の課題と展望

上記のように、レーザーフォトカソード RF ガンシステムの汎用化にとって大きな課題であった半導体カソードの長寿命化に成功した。今後は高寿命カソードの更なる高量子効率化や、レーザーシステムへの負荷を軽減可能な CsKSb カソードなどの R&D を行う。

電子ビーム応用研究では、電子ビームへの空間的な構造付与によりコヒーレントテラヘルツ波の周波数セレクティブな高強度化に成功した。その周波数特性については広帯域検波器とバンドパスフィルターを用いた簡易的な評価に留まっているため、超短パルスレーザーを用いた時間領域分光（THz-TDS）を実施予定である。