

(続紙 1)

京都大学	博士（エネルギー科学）	氏名	Mahmoud Abdel Aziem Bakr
論文題目	Studies on the Reduction of Back Bombardment Effect in Thermionic RF Guns Using Different Cathode Materials （熱陰極高周波電子銃における Back Bombardment 現象低減のための最適なカソード材料の研究）		
（論文内容の要旨） 本論文は、エネルギー材料開発に有用と考えられている中赤外自由電子レーザーの高効率発振のために、熱陰極型高周波電子銃を用いて高品質、高ピーク電流で長パルスを発生する際に大きな障害となっている Back Bombardment 現象に関して、素過程の数値シミュレーションと実験を行うことにより、現象の物理過程とその軽減法を論じた結果をまとめたもので、7章からなっている。 第1章は序論で、自由電子レーザーの基本的原理と応用について述べ、このために必要とされる電子ビーム源について述べている。また電子銃について、克服すべき問題点とその解に至る方法論について論じている。 第2章では、本論文で研究対象にする熱陰極型高周波電子銃について述べ、更にここで問題とする Back Bombardment 現象について、現象論的に述べている。 第3章では、熱陰極型高周波電子銃での Back Bombardment 現象を理解する目的で行った、計算器シミュレーションモデルについて述べている。またこのモデル計算の結果を、エネルギー理工学研究所の自由電子レーザー装置での観測値と比較する事で、その有効性を示している。また、本シミュレーション結果により、逆流電子は 100keV 以下の低エネルギー電子群、100keV 以上かつ 1MeV 以下の中間エネルギー電子群、1MeV 以上の高エネルギー電子群の3つに分けられ、このうち中間エネルギー電子群が Back Bombardment 現象の主因である、カソードの温度上昇に重要な役割を果たす事を明らかにした。 第4章では、バリウム含浸型タングステンカソードと LaB₆ 型カソードについて、第3章で有効性が確認されたモデル計算を用いて計算を行っている。ここではエネルギー理工学研究所の自由電子レーザー装置での動作条件を用いてそれぞれ比較計算を行い、LaB₆ 型カソードの場合、バリウム含浸型タングステンカソードの半分の温度上昇で、1/4 の表面電流密度の変化を 6μ 秒の動作時間で示す事が分かった。またこの違いが主にカソード材料の阻止能による事を明らかにした。 第5章では、8種類のボライト系材料について比較計算を行い、CaB₆, LaB₆, CeB₆, GdB₆, and PrB₆ の5種類が、高周波電子銃のカソード材料として有用である事を示した。更に、高出力が要求される熱陰極型高周波電子銃のカソード材料としては CeB₆ が最も Back Bombardment 現象の影響を受けにくい事を示すとともに、低出力条件下では CaB₆ が有望なカソード材料である事を示した。			

第 6 章では、第 5 章の結果を受け、電流放出特性について LaB_6 と CeB_6 について静電型電子銃を用いて実験を行い、それぞれの仕事関数 $\phi = 2.066 + 4.382 \times 10^{-4} [T \text{ eV}]$ 、 $\phi = 1.480 + 7.588 \times 10^{-4} [T \text{ eV}]$ を得ている。この結果、高出力条件下で CeB_6 をカソードとして用いた場合、 LaB_6 の場合に比べて 20% 程 Back Bombardment 現象の影響を受けにくい事を明らかにした。

第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

熱陰極を用いた高周波電子銃は小型・簡便であるため、様々な用途に用いられているが、Back Bombardment 現象に関する系統的な研究はこれまで殆ど行われていない。本研究で明らかになった陰極材料の Back Bombardment 現象に与える影響に関する知見は、特にエネルギー材料開発に寄与すると考えられる中赤外域自由電子レーザーの性能向上に関して重要な指針を与えるものであり、エネルギー科学分野に大きく貢献するものである。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 8 月 4 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、エネルギー材料開発に有用と考えられている中赤外自由電子レーザーの高効率発振のために、熱陰極型高周波電子銃を用いて高品質、高ピーク電流で長パルスが発生する際に大きな障害となっている Back Bombardment 現象に関して、素過程の数値シミュレーションと実験を行うことにより、現象の物理過程とその軽減法に関して研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) Back Bombardment 現象を、熱電子の発生から、高周波電子銃内での電子の挙動、更にはこれによる電子銃自身の電氣的応答や、逆加速電子による陰極材料との相互作用とこれによる発熱と熱伝達などの各素過程について考察し、Back Bombardment 現象による陰極の数 μ 秒内での温度の変化と、これに伴う熱電子発生量の変化を予測可能にした。
- 2) 得られたシミュレーション結果を実験値と比較することにより、その有効性を確認している。これにより、実験的には検証が不可能な電子銃内での電子の挙動やエネルギー分布等が明らかにされた。また、Back Bombardment 現象による陰極の数 μ 秒内での温度上昇が陰極材料によって大きく異なること、特に陰極材料の密度が重要な因子であることを明らかにした。
- 3) 以上の結果を踏まえて、熱陰極材料として通常使用されているバリウム含浸型タングステンカソードと LaB_6 型カソードについて検討を行い、 LaB_6 型カソードがより Back Bombardment 現象の影響を受けにくい事を明らかにした。
- 4) 更に LaB_6 と同種のボロン八面体材料に対して Back Bombardment 現象の影響を調べ、 CaB_6 が低出力条件下で最も有望なカソード材料である事を明らかにした。一方、高出力条件下では CeB_6 が最適材料であるとの結論に達している。

熱陰極を用いた高周波電子銃は小型・簡便であるため、様々な用途に用いられているが、Back Bombardment 現象に関する系統的な研究はこれまで殆ど行われていない。本研究で明らかになった陰極材料の影響に関する知見は、特にエネルギー材料開発に寄与すると考えられる中赤外域自由電子レーザーの性能向上に関して重要な指針を与えるものであり、エネルギー科学分野に大きく貢献するものである。これらの研究成果は、熱陰極型高周波電子銃を使用している装置・施設において有用であるばかりか、同電子銃の応用範囲を大きく拡大するものであり、関連産業分野への影響も大きい。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 8 月 4 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降