



| | |
|--------------|--|
| Title | 小型量子放射光源の開発ならびに低エネルギー入射におけるビーム挙動に関する研究 |
| Author(s) | 江村, 勝治 |
| Citation | 大阪大学, 2001, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/42712 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

| | |
|------------|---|
| 氏名 | 江村 勝治 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 第 16377 号 |
| 学位授与年月日 | 平成13年3月23日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第2項該当 |
| 学位論文名 | 小型量子放射光源の開発ならびに低エネルギー入射におけるビーム挙動に関する研究 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 中井 貞雄 |
| | (副査) 教授 堀池 寛 教授 磯山 悟郎 教授 西川 雅弘 教授 飯田 敏行 教授 三間 圭興 教授 西原 功修 教授 粟津 邦男 |

論文内容の要旨

本論文は、光量子科学の基礎研究のみならず微細加工・分析評価技術などの広範な分野で利用されようとしている量子放射光源の小型化、これに必要な低エネルギーで小型の電子入射器の開発を行った成果をまとめたもので、7章より構成されている。

第1章は緒論であり、量子放射光源の小型化の手法について述べるとともに、実用化に向けて研究開発が必要な課題を明らかにし、本論文の意義を明確にしている。

第2章では、開発した超電導小型電子蓄積リングについて、キーエレメントである超電導偏向マグネットならびに高温超電導体電流リードに重点を置き、その設計と基礎特性を明らかにしている。さらに、小型電子蓄積リングのシステムとしての性能を評価し設計の妥当性を検証している。

第3章では、小型電子蓄積リングへ電子ビームを入射するために開発した小型の電子ライナックについて小型量子放射光源の有効利用という観点から、独自のマイクロ波システムを開発し、世界で初めて1台の電子ライナックで電子蓄積リングへの入射だけでなく自由電子レーザーの発振にも成功している。

第4章では、開発した小型電子蓄積リングに採用したコールドボア方式における真空性能について、真空チャンバのクライオポンプ作用を利用し、真空チャンバを真空ポンプとして機能させ、クライオ作用面への放射光の直接照射ならび正反射の照射に対し遮光対策を施せば真空度悪化は問題にならず、放射光の真空チャンバ等表面で生じる拡散反射について対策が不要であることを明らかにし、これによりコールドボア方式の設計手法を確立している。

第5章では、低エネルギー入射において発生したビーム不安定性について、デカップリング法に必要なサイドバンド空洞として初めて定在波型を採用し、ビーム不安定が効果的に減衰することを実証するとともに、定在波型空洞の採用で懸念された新たなビーム不安定の誘起は、空洞に取り付けた複数のプランジャーによって高次モードの共振周波数を制御すれば解決できることを示している。

第6章では、小型電子蓄積リングで観測された速いビーム減衰について、電子ビームに捕獲されたイオンが関与していることを明らかにし、低エネルギー入射法において電子ビームの安定蓄積を阻害する主要因であるイオンについて、効果的なイオン除去方式を明らかにしている。

第7章は結論であり、以上の研究で得られた結果をまとめ本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

量子放射光源は光量子科学の基礎研究ならびに産業応用に有効な装置として大きな期待が寄せられている。特にその小型化、安定動作の確立は、広く実用化を進めるうえで極めて重要な技術課題である。本論文は、このような背景のもとで超電導技術や小型ライナック技術を新たに開発し小型光量子放射光源を開発するとともに、そこで最も重要な低エネルギー入射におけるビーム挙動に関する研究を行った結果を述べている。得られた主な成果は以下の通りである。

第2章

- (1)入射エネルギー280MeVにおいて最大蓄積電流は450mAで、そのときの蓄積効率として150mA/minを得、また加速後のエネルギー600MeVにおいて200mAの蓄積を達成している。
- (2)液体ヘリウム消費量を削減するために、高温超電導体を用いた電流リードを世界で初めて超電導小型電子蓄積リングに実装し、従来の銅パイプ製電流リードに比べ液体ヘリウム蒸発量が約1/3に減少することを確認するとともに、3年以上にわたる定格電流通電での運転でも高温超電導体は安定な性能を保つことを確認している。
- (3)電子波動法を採用することで、光源から4m離れた地点で±25mmまで照射野を拡大させることを実証するとともに、少なくとも周波数20Hz以下で、かつキック角8mrad以下の電子波動法においては、ビーム寿命の短縮や、新たなビーム不安定の発生はないことを確認している。

第3章

- (1)波長14μmのFELを発振させるには規格化エミッタスが $60\pi\text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 以下・エネルギー広がり0.7%以下、ピーク電流が30A以上の電子ビームが必要であることを示し、低エミッタス化には電子錠の高電圧化が効果的であり、DC-200kV動作の電子錠を開発している。さらに電界解析シミュレーションを駆使して電界集中の緩和を目指す絶縁設計を行い、コンパクトな電子錠システムを実現している。
- (2)ピーク電力45MWのマイクロ波伝送が可能な導波管システムを開発した。一般に放電頻度が高いと考えられているマイクロ波窓・ベローズ導波管を一切用いないシステムを実現している。
- (3)エネルギー25MeVの電子ビームを用いて波長14μmの自由電子レーザーの発振に成功している。アンジュレータ内で電子ビームを強収束させて自発放射光の単色性を向上させることができることを示している。

第4章

- (1)オリフィス法を用いてコールドボアチャンバの排気速度を評価し、窒素ガスの場合は排気速度は $7.5\text{ m}^3/\text{s}$ で真空中度に対し依存性を持たず、水素ガスの場合は100nPa以上において排気ガス速度は $17\text{ m}^3/\text{s}$ で真空中度に対し強い依存性があることを明らかにしている。
- (2)放射光の高エネルギー光子がコールドボアチャンバ表面に照射されると光刺激ガス脱離現象が生じるので遮光対策が必要である。直接照射の対策としては、上流の偏向マグネットで放射された放射光が下流側のコールドボアチャンバ表面を直接照射することを避けるために遮光対策について光線追跡を行ってコールドボアチャンバ表面の照射を避ける手法を確立している。
- (3)ビーム負荷時のガス脱離は、アブソーバの温度上昇による輻射伝熱が支配的であることを実験的に明らかにしている。

第5章

- (1)小型電子蓄積リングNIJI-IIIにおいてビームサイズ増大を伴うビーム不安定性が発生しており、その種別は縦方向バンチ結合不安定性で、しかも不安定性の発生要因が小型電子蓄積リングの高周波加速空洞にあることを明らかにしている。
- (2)縦方向バンチ結合不安定性の抑制を目的に、サイドバンド空洞によるデカップリング法を採用し、空洞に設けた2個のプランジャーによって高次モードの共振周波数を制御することで新たなビーム不安定性の誘起を避けることに成功している。

(3)サイドバンド空洞への投下パワーが44Wのとき、パワー非投入時に比べ縦方向ビーム不安定性のコヒーレントな振幅が1/40まで減衰することを実証し、さらにサイドバンド空調をデチューン状態で使用することにより、より効果的に縦方向バンチ結合不安定性が抑制できることを示している。

第6章

- (1)小型電子蓄積リングで観測された速いビーム減衰現象は、電子ビームに捕獲されたイオンが関与していること、とりわけ、偏向部において捕獲されたイオンが、速いビーム減衰現象に深く関与していることを明らかにしている。
- (2)電子ビームの安定蓄積を阻害するイオン捕獲現象を避けるには、イオン除去電極を偏向部に設置することが効果的であることを示している。

以上のように本論文は、量子放射光源の小型化にかかる超電導技術、ビーム制御技術、真空技術等に関する多くの新技術を開発し、関連する物理過程を明らかにしている。これらの成果に基づいて開発された小型量子放射光源は、光量子科学の基礎研究に有効なインフラストラクチャーとして、また実用産業デバイスとして今後の科学・技術の発展に大きく貢献するものであり、電磁エネルギー工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。