

氏 名	あお 青 ひろ 寛 ゆき 幸
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2156 号
学位授与の日付	平 成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	二重周期 L 型サポート Disk-and-Washer 型加速器の開発
論文調査委員	(主 査) 教 授 野 田 章 教 授 井 上 信 教 授 笹 尾 登

論 文 内 容 の 要 旨

加速器においては効率的な加速の実現のため、加速空洞のシャントインピーダンスが高いことが重要となる。本論文で扱っている Disk-and-Washer 型加速器は、もともと陽子の高ベータ領域において高いシャントインピーダンスを有する構造として提案され検討されてきており、ロシアのモスクワメソソファクトリーで実用化に移された例があるが、その特性は詳しく判っていないのが現状である。この状況を改善し、Disk-and-Washer 型加速器を、既に普及している他の加速空洞と同程度の信頼度で製作する手法を確立したいという動機から本研究は開始された。本研究は、高ベータ領域において高い加速効率を有する Disk-and-Washer 型加速空洞について、実際のビーム加速を想定した実機として、容易に高ベータ領域に到達可能な電子ビームの加速器を選び、具体的には、化学研究所原子核科学研究施設で稼働している電子線形加速器の最終段を置き換えることを想定した二重周期 L 型サポート Disk-and-Washer 型加速空洞の設計を実施し、全長 2842 mm の加速空洞で 60 MV の加速電圧の発生可能な設計を完成させた。これは稼働中のディスクロード型の 45 MV に比して 3 割も高い加速効率を実現している。

その際、現実の加速のためには、Disk-and-Washer 型加速空洞の加速モード (TM_{01}) 及び結合モード (TM_{02}) の二つのモードの周波数を、既設の電子線形加速器の運転周波数 2857 MHz に一致させることが必要となる。この目的のため、2 次元電磁場解析コード Superfish 及び 3 次元電磁場計算コード MAFIA を駆使した数値計算で、両モードの周波数を、目標に可成り近い値に追い込んだ後、コールドモデルを用いた実測を行い、加速空洞の寸法決定を実施した。この過程で、多数のセルからなる (本研究の場合 24 セル) Disk-and-Washer 型加速空洞の共振周波数は、セル間の強い高周波の結合のため全セルの全体的な平均値となるが、セル数の増加につれて端板の効果が小さくなるために生ずるセル数の増加に伴う収束性の存在を指摘し、明確な設計指針として確立した。曲面部分も含めて $\pm 20 \mu\text{m}$ の機械加工の精度を確保することにより、加速モード 2855.89 MHz、結合モード 2853.5 MHz の周波数を実現しており、加速管組立後の微調整 (squeeze) により、加速モード周波数を 2857 MHz に調整した場合、結合モードは 2851 MHz に変化すると推定され、これも許容範囲 2857 ± 7 MHz の範囲内に収まる設計が可能であることを示した。

本研究では、加速空洞の材質についても詳しい検討を加えている。Disk-and-Washer 型は加速管内部のワッシャーを、中空のパイプ材であるサポートで支える構造のため、これらの部分には十分な強度を持たせる必要があり、当初クロム銅が最適と考えられていたが、本研究の過程で、ワッシャー部分のロウ付け段階でクロム銅表面の酸化による変色が観測され、これは加速空洞全体の Q 値にはそれほど影響を与えないものの、最終段階でのセル間の接合に際してリークを起こしやすい等の問題点を有することが判明した。こうした観点からクロム銅に比して放出ガスが 2 倍程度少ない無酸素銅を材料として選定し、ロウ付け時の焼鈍による効果を考慮しても、加工後の運搬の際の加重を 1.2 kg (4 G) 以下に抑えることで、変形を 0.1 mm 以下に抑制でき、工程管理で対応可能であることを示した。

本研究の結果、s-バンド (2857 MHz) 電子線形加速器を $\beta \sim 1$ の領域において、Disk-and-Washer 型で実現するための設計と知見が確立された。

論文審査の結果の要旨

申請者は、高ベータ領域で高いシャントインピーダンスを有する Disk-and-Washer 型加速器の開発を推進し、実際の電子ビーム加速を想定した $\beta \sim 1$ の領域での s-バンド (2857 MHz) 二重周期 L 型サポート Disk-and-Washer 型加速空洞の設計を確立した。開発に当たっては、共振周波数の推定のため、2 次元及び 3 次元の電場解析コード Superfish 及び MAFIA を駆使した数値解析を遂行した。この結果に基づき、アルミニウムのコールドモデルの製作・電場測定を行い、基本的なパラメータの確定を行った。さらにクロム銅及び無酸素銅を用いたホットモデルの製作及び測定を遂行した。この過程で、多数のセルから構成される Disk-and-Washer 型加速空洞の場合、セル間の電磁場の結合度が大きいため、空洞全体の共振周波数は、各セルの共振周波数の平均値で与えられるが、端板の効果はセル数の増加と共に小さくなるため、セル数の増加に伴う収束性が存在することを見だし、設計の基本的指針を確立したことは特筆に値する。申請者は更に、実機製作後の微調整 (squeeze) による加速モード (TM_{01}) 及び結合モード (TM_{02}) の周波数の調整の詳細についても検討し、加速モードの周波数を 2857 MHz にあわせた場合結合モードが 2851 MHz と許容値の範囲内であることを示した。申請者は、加速空洞の材質についても詳細な検討を加え、材料強度的に最適と考えられていたクロム銅については、ロウ付け時の放出ガスのため表面の酸化の問題が存在することを突き止め、強度的には劣るが放出ガス量がクロム銅に比して約 2 分の 1 の無酸素銅を使用して、実機の製作が可能であることを、材料強度試験等を通じて明らかにした。

上記の申請者の研究によりもたらされた知見は、高い加速効率のため永年注目されながら、製作に関する明確な指針が存在しなかった Disk-and-Washer 型加速空洞の設計指針を確立したものであり、先端加速器技術上の重要な貢献といえる。

よって、本申請論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。

平成 12 年 1 月 17 日、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。