

論文審査の結果の要旨

氏名 竹内 猛

本論文は6章からなる。

第1章は、序論である。レーザーイオン源より生成される大強度重イオンパルスビーム（数100mA程度）には低エネルギービームラインにおいて極めて強い空間電荷効果が働き、深刻なビーム損失を受けることが大きな問題である。本章では、本研究の目的である新しく提案されたレーザープラズマソースと後段加速器である高周波4重極線形加速器（RFQ Linac）から構成される「プラズマ直接入射法」により始めてこの困難を克服し、大強度の重イオンビームを加速できることが述べられている。また、ビーム損失の問題点についての今までの研究成果、他研究所のアプローチがまとめられている。

第2章は、「プラズマ直接入射法」の実証実験のためのレーザーイオン源におけるレーザープラズマ特性について述べられている。そこでは：1. レーザープラズマの放出角度、2. 各チャージステートイオンに対してのパルス時間波形、エネルギー、エネルギー幅、3. 各チャージステートイオンのイオン電流値、等についての実験結果がまとめられており、さらにレーザープラズマ測定の結果がまとめられている。

第3章は、「プラズマ直接入射法」の実験装置についての説明である。レーザープラズマ生成用標的真空容器、RFQ Linac、そして荷電数分析ビームラインの個々の装置について詳説されている。

第4章では、カーボンターゲットを用いた「プラズマ直接入射法」についての実験結果が述べられている。RFQ Linac直後に置かれたファラデーカップにおいてピーク24.6 mAのビーム電流が得られたことが述べられている。さらに波形が81.075 MHzでバンチングされていること、飛行時間測定からの結果より、ビームはRFQ linacの加速チャンネルに正常に捕獲され、RF加速(214 keV/u)が実現されていることが実証された。また、バンチングされている波形を1周期で平均化し、プロットした波形のピーク値(平均化ピーク電流値)は7.84 mAで、分析ビームライン後のファラデーカップでの C^{4+} 、 C^{3+} の各ビームでの平均ピーク電流値はそれぞれ2.65 mA, 1.18 mAであることが確認された。さらに入射エネルギー依存のRFQ LinacのRFパワー依存と出力ピーク電流値のRFQ LinacのRFパワー依存と入射エネルギー依存の測定が行われ、それらの実験結果についてまとめられている。これらの結果は、ビームの空間電荷効果で規格化されたビーム輝度と比較すると、他所で得

られたこれまでの測定値の5～10倍であった。本研究での「プラズマ直接入射法」が、ビームの空間電荷効果を抑制し、レーザーイオン源からの高強度のビームをRFQ Linacで効率良く捕獲、加速させることが可能なことを実験的に示した。

第5章では、「プラズマ直接入射法」の定量的評価を、シミュレーション計算により示している。これにより、レーザープラズマはRFQ Linac入口スリット端でイオンビームとしてプラズマから引き出されRFQ内に入射されていることが示された。3次元RF 4重極電場内の粒子トラッキングと多種荷電数のイオンに対する計算が可能であるRFQ Linac内の粒子シミュレーションを併せた計算結果は、実験値と非常に良い一致を示した。これによりRFQ Linacの4重極電場が大きな場合には、ビーム自身の空間電荷による発散力は十分抑制され、ビーム損失を回避して有効にビームが加速されることが示された。

第6章は結論である。「プラズマ直接入射法」は本研究の目的であった低エネルギービームラインにおいて極めて強い空間電荷効果によるビーム損失の問題を克服し、大強度重イオンビームの加速が可能である入射方法であることが結論として述べられている。さらに他研究所の大強度重イオンビーム加速の結果と比較が行われ、「プラズマ直接入射法」はレーザーとRFQ Linacからなる簡便な装置でもかかわらず有効なビーム加速が行われたことが本研究により始めて示されたことが述べられている。

なお、本論文第2、3、4章はT. Katayama, T. Nakagawa, M. Okamura, K. Yano, A. Sakumi, S. Ozawa, T. Hattori, N. Hayashizaki, R. A. Jameson, S. Kondrashev, N. Mescheryakov, B. Sharkovとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。