

小型 MeV イオンマイクロビーム装置用の電磁石型ペニング・イオン・ゲージ (PIG) イオン源のエネルギー幅の測定

Measurement of Beam Energy Spreads of a Penning Ion Gauge (PIG) Ion Source with Electromagnets for a MeV Compact Ion Microbeam System

石井 保行¹, 大久保 猛¹, 三宅 善信²

QST Takasaki¹, Beam Seiko Instruments Inc²

E-mail: ishii.yasuyuki@qst.go.jp

MeV 領域のイオンマイクロビーム (以下、マイクロビーム) はイオンビーム分析や微細加工に有効に利用されている。このマイクロビームは、現在、加速器、ビームライン及び集束レンズ装置で構成される全長が 10~30m にも及ぶ大型の装置で形成されている。このためマイクロビームの普及には実験室に設置できる小型の装置 (2×2×3m³ 程度) (以下、小型マイクロビーム装置) の開発が必須となっている。

量子科学技術研究開発機構 (QST)・高崎研究所では、1 MeV の小型マイクロビーム装置の開発を目指している。その第一段階として 120 keV 程度の水素イオンビームで 1 μm 径を目標としたプロトタイプ・小型マイクロビーム装置 (以下、プロトタイプ装置) を開発してきた。プロトタイプ装置は、並行平板型の静電レンズ (加速レンズ) を使用した 3 段加速レンズ (全長 65 cm 程度ながら縮小率 500 以上) と、これに適したビームを発生するデュオプラズマトロン型イオン源 (500 eV 程度で、輝度 5 A(m²Sr⁻¹eV⁻¹)、ビームエネルギー幅 5 eV 以下) で構成されている。特に、デュオプラズマトロン型イオン源は、上記の条件のビームを優先して発生するため、消費電力が大きいフィラメントを使用したものを開発した。これまでに、プロトタイプ装置を使用して、120 keV 水素イオンビームで目標値に近い 1.8 μm 径を実験的に形成し、3 段加速レンズを使用した小型マイクロビーム装置の有効性を実証した。

次の開発は、小型マイクロビーム装置に搭載可能な、小電力のイオン源の開発である。デュオプラズマトロン型イオン源は、消費電力が大きく、加えて熱流入部分の冷却や、フィラメントの消耗による頻繁な交換が必要である。小型マイクロビーム装置は、高電圧を印加するため、絶縁ガスの高圧タンク内に設置することが想定されている。このため、現有のデュオプラズマトロン型イオン源を、このタンク内で使用することは困難である。そこで、3 段加速レンズに適したビームを発生しつつ、小型、小消費電

力及びほぼメンテナンスフリーなイオン源の開発が必須である。この候補として、簡便なプラズマ発生機構でフィラメントが無く、大きさ、消費電力に関しても目的を満たすペニング・イオン・ゲージ (Penning Ion Gauge: PIG) イオン源が挙げられる。しかし、一般的な PIG イオン源では、前述のイオンビーム条件を満たすことが困難である。

本研究では、3 段加速レンズに適したイオンビームを発生するため、高密度な小プラズマからビームを発生する電磁石型 PIG イオン源を設計・試作した。今回、3 段加速レンズに適したビームの性質の内、ビームエネルギー幅に関して水素イオンビームを発生してその幅に関する研究を行った。ビームエネルギーの分析には、静電並行平板型のエネルギー幅分析器を使用した。図 1 に測定結果の一例をビームエネルギーの関数として示す。横軸はビームエネルギー、縦軸は、エネルギー分析器を通過したビーム電流である。イオン源の種々なパラメータを変えて測定を行った結果、200eV 程度で、5±0.2 eV 程度のビームエネルギーを発生することができ、ビームのエネルギー幅に関しては、条件を満たすことができた。

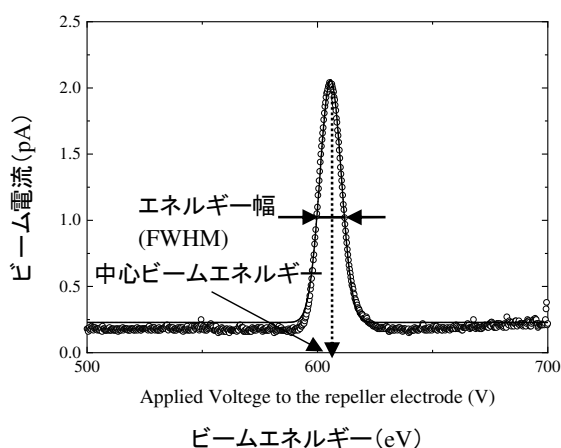


図 1 ビームエネルギー測定の結果の一例