

シングルイオン検出可能なイオンイメージングシステムの開発

Development of ion imaging system capable of single ion detection

山本 広佑 [1]; 坂本 直哉 [2]; 坎本 尚義 [3]

Kosuke Yamamoto[1]; Naoya Sakamoto[2]; Hisayoshi Yurimoto[3]

[1] 北大・理・地惑; [2] 北大・創成; [3] 北大・理

[1] Earth Sciences, Hokkaido Univ.; [2] CRIS, Hokudai; [3] Natural History Sci., Hokudai

<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~g3/>

試料表面の同位体分布を高精度に可視化する同位体イメージングは、宇宙化学のみならず半導体や生物試料など、その応用範囲が多様化してきている。同位体イメージングを実現するために、投影型の二次イオン質量分析装置と二次元イオン検出器 (Stacked CMOS type Active Pixel Sensor :SCAPS) を組み合わせた同位体顕微鏡が開発された。SCAPS は、イオンを直接検出可能な画素が二次元的に配列されており、投影されたイオンイメージを二次元的に検出するイオン検出器である。従来の SCAPS システムのノイズは約 85 マイクロボルト (2 ~ 3 イオン相当) であった。本研究では最高感度である 1 イオンの検出を可能にするために、新しい制御システムを開発しノイズの低減を試みた。

開発したシステムは電源モジュール、定電圧生成回路、駆動パルス生成モジュール、アナログ/デジタル (A/D) 変換モジュール、コントロールモジュールから構成されている。SCAPS に印加する電圧は、電源モジュール (NI PXI-4110) から供給する電源を用いて、定電圧生成回路で生成される。定電圧生成回路はシステムの低ノイズ化のために自作した。SCAPS を駆動するタイミングパルスは、LabVIEW プログラミング言語で記述し、駆動パルス生成モジュール (NI PXI-7811R) 上の FPGA で生成される。SCAPS から出力されるアナログ信号は、A/D 変換モジュール (NI PXI-5922) でデジタル値に量子化される。用いた A/D 変換モジュールは、デルタシグマ変調方式を採用しており、分解能向上のために約 24 ビット (最高 500kS/秒) から 16 ビット (15MS/秒) の範囲でサンプリングレートを変化させることが可能である。高分解能高速サンプリングレートは SCAPS の駆動速度を制限したアナログローパスフィルタ回路と同等な効果をデジタル的に実現できる。つまり 1 フレーム読みだし中に個々の画素を複数回読み出し後平均化するデジタル処理が可能となる。全てのモジュールは、コントロールモジュール上で動作する LabVIEW で開発したソフトウェアによって制御される。

ノイズは 1 イオンに相当する約 35 マイクロボルトまで下がった。我々は正確に 1 イオン検出するためのノイズ低減法を開発した。一画素を複数回平均した時と同様に、フレームを複数回平均してもノイズを下げることでできるとわかった。10 フレームを平均すると、1 画素のノイズは 0.3 イオンに相当する約 10 マイクロボルトまで下がった。この結果は新システムによって 1 イオン検出が可能である事を示唆している。