

積層型固体撮像素子を用いたイオンモニターシステムの開発

Development of ion monitor system with stacked CMOS active pixel sensor(SCAPS)

坂本 直哉[1], 国広 卓也[1], 永島 一秀[2], 坂本 尚義[3]

Naoya Sakamoto[1], Takuya KUNIHURO[2], Kazuhide Nagashima[2], Hisayoshi Yurimoto[3]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] 東工大・理工・地球惑星, [3] 東工大・院理工・地惑

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech., [2] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech., [3] Earth & Planet. Sci., TiTech

始源的な隕石や惑星間塵(IDPs)から、水素や窒素同位体比について大きな同位体異常が発見されている。しかし、in situ で隕石から発見されたという報告は極めて少ない。隕石中での発見例が少ないのは、同位体異常をもつ粒子が小さい($\sim 10\mu\text{m}$)事や化学的、鉱物学的特徴が解明されていない(Messenger and Walker, 1997)事などが原因として考えられる。

そこで、隕石中から IDPs のような粒子を発見するには、広範囲に大きな同位体異常を探索できる同位体イメージング(Nittler et al., 1994; Kunihiro et al., 2001; Yurimoto et al., 2003)が効果的な手段となる。

同位体イメージングには、マイクロチャンネルプレート(MCP)、蛍光板、CCDを組み合わせたシステムが広く用いられている。しかし、このシステムでは電子/光変換の非線形性とその線形領域のダイナミックレンジの狭さが定量的な測定のネックになっている。また、蛍光面の電子衝撃劣化による発光効率の面的非一様性の発生も問題点の一つである。

蛍光板を位置敏感検出器に置き換えたパルスカウントシステムは、粒子線に対するリアルタイム線形応答性に優れ、単一粒子を検出する感度を有している。しかしながら、位置検出用演算回路の応答速度に起因する不感時間が律速となるため、検出面積あたりの係数率が制限されている。また、同一測定条件で、高係数率と低係数率の粒子線の同時検出が困難である。

このような問題に対し、荷電粒子線検出器として半導体上に電極を積層した積層型固体撮像素子(Stacked CMOS Type Active Pixel Sensor, SCAPS)が提案されている(Matsumoto et al., 1993)。この素子は、荷電粒子を検出する画素が 608×576 個二次元的に配列されており、二次元での撮像が可能である。また、電荷を直接検出する事により、従来の荷電粒子検出システムでは得られなかった、広いダイナミックレンジと良好な線形性を実現している(Nagashima et al., 2001; Kunihiro et al., 2001)。

これまで、SCAPSを用いたシステムは精度向上を目標として開発が進められてきた。今回は、広範囲に渡って大きな同位体異常を持つ粒子の発見を目標とするので、精度よりも速度に重点を置いて、SCAPSを用いたイオンモニターシステムを開発した。速度を上げると、1フレームあたりに検出器から読み出される電荷は読み出し速度に比例して少なくなる。そこで、蓄積する電荷を増倍するためにMCPを用いた。

イオンモニターシステムは検出器、駆動パルス回路、読み出し回路、ホストコンピュータから構成される。検出部はSCAPSとSCAPSの0.8mm上面に電極ではさまれたMCPから構成される。駆動パルス回路はSCAPSを駆動するパルスを生成する回路で、読み出し回路を介してSCAPSと接続されている。読み出し回路にはSCAPSに供給する定電圧生成回路と、SCAPSから出力される電流を電圧に変換する回路、変換した電圧を増幅する回路がある。ホストコンピュータはA/D変換ボードを介して得たデータをモニターに表示する。A/D変換ボードは12ビットの分解能を持ち、読み出し周波数4MHzで駆動している。イオン源として二次イオン質量分析装置IMS-3f(Cameca社)を用い、4.5keVのエネルギーを持つ 27Al^+ をSCAPS上に照射した。 27Al^+ はMCPにより電子に変換され、電子はSCAPSの表面電極に直接入射する。電極表面と入射電子の相互作用の結果、SCAPSのキャパシタに電荷が蓄積されていく。蓄積した電荷は、読み出し回路を介して読み出され、A/D変換されたのちにコンピュータで処理されモニターに表示される。

MCPで増倍された電子がSCAPSに入射する際に、SCAPSの表面電極から二次電子が発生する。この二次電子は得られる画像の質に大きな影響を与えるが、MCPに印加する電圧を変える事でコントロールする事ができた。印加電圧を様々に変えて実験した結果、イオンモニタリングに最適な電圧値をイオン入射側-880V、電子出力側+20Vと決定した。

読み出し速度は、1画素あたりの走査周波数4MHzで安定にイオンイメージを取得する事ができた。SCAPSは20MHz以上の駆動が可能であり、使用したA/D変換ボードの最大サンプリングレートは5MHzであるので、律速はイオンイメージを描画するコンピュータの処理能力である。今後、コンピュータの性能向上によって、より高速に読み出す事が可能であると期待される。