

第4章

ノイズとの闘い…飛んでくる2次イオンをキャッチして同位体を見分ける

ほぼイメージ・センサ! 高精度2次元イオン検出器

坂本 直哉 Naoya Sakamoto

2次元イオン検出器SCAPS(Stacked CMOS Active Pixel Sensor)⁽¹⁾は、光学用途で一般的に用いられているCMOSイメージ・センサ表面に電極を積層することでイオンの直接検出を可能とした固体撮像素子です(写真1)。質量分析装置におけるイオン検出に適した以下の特徴をもちます。

- (1) 粒子線と電極との相互作用で生じる2次電子放出による電位変動を信号として検知するしくみなので原理的に安定かつ長寿命
- (2) 画素のキャパシタに蓄積した信号を保存したまま読み出す非破壊読み出しが可能
- (3) 広いダイナミック・レンジと良好な入出力線形性をもつ
- (4) シングル・イオン検出が可能

イオンの高精度イメージ・センサ… 2次元イオン検出器の動作原理

● 動作原理

波長の長い光と異なり、イオンなどの荷電粒子は、イメージ・センサの表面保護層(SiO₂)に阻まれ、感度のある受光部へと侵入できません。そこで、SCAPS

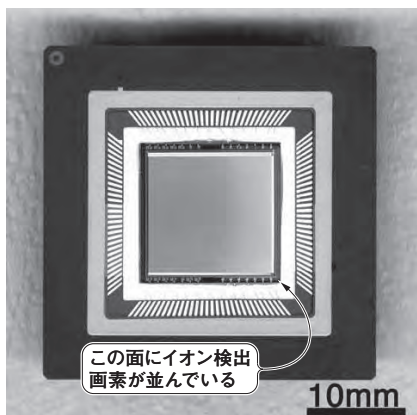
では最表面に剥き出しの金属電極を積層することで、イオンの直接検出を実現しています。

SCAPSの表面に入射した荷電粒子は、積層電極との相互作用により一定の放出効率で2次電子を発生させます。発生した2次電子を検出器直上に設置した2次電子吸い取り電極で除去すると、入射した荷電粒子の信号は正の電位として画素キャパシタに蓄積していきます。この蓄積した各画素キャパシタの電位をCMOSを用いて読み出すことにより、荷電粒子の検出を可能としています。

● 1画素の構造

SCAPSの画素構造を図1に、等価回路を図2に示します。画素最表面の積層電極から電荷の蓄積部であるp型半導体ウェルに形成されたトランジスタM_{RS}まで電極で接続されており、その周囲に画素キャパシタが形成されています。

蓄積される電荷に応じて、ポリシリコンのゲートを介して形成されるトランジスタM_{RD}直下のチャネルの線形性および増幅率に応じて出力電流I_{OUT}が増減します。入出力間のインピーダンスは極めて高く、蓄



(a) 外観



(b) 拡大した画素

写真1 2次元イオン検出器SCAPSはイメージ・センサをベースにした構造

イメージ・センサの各画素の上に金属電極を積層した構造。イオンなどの荷電粒子を直接2次元で検出できる