

ン散乱の運動学から、コンプトン散乱角 θ は次式 (2) によって計算される。ここで m_e は電子の静止質量、 c は光速である。

【0019】

【数1】

$$\cos\theta = 1 + m_e c^2 \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{E - E_1} \right) \quad (2)$$

【0020】

これらの関係からガンマ線源13は、散乱検出器11中でガンマ線14がコンプトン散乱を起こした相互作用点と、散乱されたガンマ線が吸収検出器12で吸収された相互作用点を結ぶ直線に対して頂角が 2θ の円錐面上にあることが分かる。従って、このような事象を2組以上計測し、夫々の組み合わせに対して円錐面を作り、それらの円錐面が重なり合う位置を求めると、その位置はガンマ線源13の存在する位置の候補である。事象の計測数、すなわち円錐面の数を多くすればするほど、それらの重なり合う領域を狭めることができ、高い精度でガンマ線源の存在位置を求めることができる。

10

【0021】

図5は、個々のガンマ線検出器の構造例を示す図であり、(a)は上面図、(b)は正面図、(c)は側面図である。ただし、本発明で使用できるガンマ線検出器は、図5に示す構造の検出器に限られず、ガンマ線との相互作用位置とエネルギーを検出できるガンマ線検出器であれば、どのような検出器でも使用可能である。

20

【0022】

図示のようにX、Y、Z座標系を設定して説明する。この検出器は、寸法 $a \times b \times c$ の平板型のガンマ線検出結晶20の両面に短冊状に分割された電極を形成したものである。平板型のガンマ線検出結晶20の一方の表面には、幅 d で長さが a のX方向に細長い電極ストリップ21が複数本、密に並べて形成されている。また、平板型のガンマ線検出結晶20の反対側の表面には、幅 d で長さが b のY方向に細長い電極ストリップ22が複数本、密に並べて形成されている。一方の表面の電極ストリップは陽極（以下、陽極ストリップという）とされ、反対側の表面面の電極ストリップは陰極（以下、陰極ストリップという）とされる。このように平板型のガンマ線検出結晶20の表面と裏面には、互いに直交する方向に延びる陽極ストリップ21と陰極ストリップ22がそれぞれ複数本設けられており、ガンマ線とガンマ線検出結晶との相互作用による信号が強く検出される陽極ストリップと陰極ストリップの組み合わせによって、相互作用点の大まかなXY座標が分かるようになっている。

30

【0023】

以下では、一例として、 $a = 39 \text{ mm}$ 、 $b = 39 \text{ mm}$ 、 $c = 20 \text{ mm}$ 、 $d = 3 \text{ mm}$ とし、ガンマ線入射側の電極を陽極、反対側の電極を陰極とした例によって説明する。最初に、平板型のガンマ線検出結晶20内におけるガンマ線の相互作用点の結晶表面からの深さ方向の位置DOI (Depth of interaction) を求める方法について説明する。

【0024】

図6は、電極分割型平板ガンマ線検出器の内部でガンマ線がガンマ線検出結晶と相互作用したとき、陽極ストリップ及び陰極ストリップから発生する出力信号をシミュレートした図である。図示した信号は相互作用点に最も近い陽極ストリップ及び陰極ストリップからの信号である。ガンマ線の相互作用点の深さ方向の位置(DOI)によって信号波形が変化する。

40

【0025】

図7は、1つの検出事象について、陽極ストリップ21で検出された信号波形の振幅が最大値の50%に達するまでの時間と陰極ストリップ22で検出された信号波形の振幅が最大値の50%に達するまでの時間の差と、DOIとの関係を図示したものである。この時間差とDOIとがほぼ直線関係にあることが分かる。従って、図7の関係を記憶しておき、測定された時間差を図7の関係に当てはめることによってDOI、すなわち相互作用

50

点のガンマ線検出結晶の表面からの深さを知ることができる。

【0026】

電極分割型平板ガンマ線検出器内でガンマ線がガンマ線検出結晶と相互作用すると、検出器の表面（ガンマ線入射側）に設けられた複数の陽極ストリップから信号が発生されるが、相互作用点に最も近い位置にある陽極ストリップから発生される信号が最大の振幅を示す。同様に、陽極ストリップと直交するようにして検出器の裏面に設けられた複数の陰極ストリップから発生される信号も、相互作用点に最も近い陰極ストリップから発生される信号が最大の振幅を示す。従って、複数の陽極ストリップの中で信号振幅が最大の陽極ストリップの位置と、複数の陰極ストリップの中で信号振幅が最大の陰極ストリップの位置から相互作用点のXY座標を知ることができるが、電極ストリップは幅dを有するため、この方法によって知ることのできる相互作用点のX座標及びY座標は、それぞれ最大d/2（図示の例ではd=3mm）の誤差を含んでいる。そこで、以下に説明する方法により、相互作用点のXY座標を電極ストリップの幅より小さな精度で決定する。

10

【0027】

図8は、ガンマ線検出結晶とガンマ線の相互作用点の横方向位置、すなわち電極ストリップの幅内における位置を高精度に測定する方法を説明する図である。電極分割型平板ガンマ線検出器内でガンマ線がガンマ線検出結晶と相互作用すると、前述のように、検出器の表面に設けられた複数の陽極ストリップから信号が検出され、相互作用点に最も近い陽極ストリップから発生される信号が最大の振幅を示す。同様に、検出器の裏面に設けられた複数の陰極ストリップからも信号が検出されるが、相互作用点に最も近い陰極ストリップから発生される信号が最大の振幅を示す。

20

【0028】

図8は、最大の信号振幅を示す電極ストリップの両隣の電極ストリップによって検出される信号波形を示した図である。図8の左側のグラフは最大の信号振幅を示す電極ストリップの左隣の電極ストリップの信号波形、右側のグラフは最大の信号振幅を示す電極ストリップの右隣の電極ストリップの信号波形であり、上からDOI=1mm、5mm、10mmのときをシミュレーションしたものである。相互作用点の、幅3mmの電極ストリップの中心線からのずれ量（TOI: Transverse position of interaction）は全て同じで1mmである。右隣の電極ストリップの信号波形の最大振幅をA₊、左隣の電極ストリップの信号波形の最大振幅をA₋として、次式で表されるパラメータLを計算する。

30

【0029】

【数2】

$$L = \frac{A_+ - A_-}{A_+ + A_-} \quad (3)$$

【0030】

図9は、TOIと上式(3)で定義したパラメータLの関係を示す図である。図示するように、TOIとパラメータLはほぼ直線の関係を示す。従って、図9の関係を記憶しておき、最大の信号振幅を示す電極ストリップの両隣の電極ストリップの信号波形から測定された振幅A₊、A₋をもとに計算されるパラメータLを図9の関係を当てはめることによってTOI、すなわち電極ストリップの幅d内におけるガンマ線の相互作用点の位置を高精度に知ることができる。これをX方向に細長い陽極ストリップ21に関して行うことにより相互作用点のY座標位置を高精度に求めることができ、またY方向に細長い陰極ストリップ22に関して行うことにより相互作用点のX座標位置を高精度に求めることができる。

40

【0031】

相互作用点に最も近いストリップであるか、その両隣のストリップであるかは、それらのストリップから得られる信号波形の違いを使って識別することができる。相互作用点に最も近いストリップの信号は、図6で例えば500nsのところでは波高が±100になっ

50

ているのに対し、両隣のストリップからの信号は、図8で例えば300 nsのところでは波高が0になっている。そこで、この波形の違いを識別するための波形弁別器を製作し適用すれば両者を識別でき、DOIを検出するためのストリップ(DOIストリップ)であるか、TOIを検出するためのストリップ(TOIストリップ)であるかがわかる。

【0032】

図10は、本発明によるガンマ線撮像装置の信号処理部の例を示す概略ブロック図である。検出部10の1段目、2段目及び3段目の検出器101, 102, 103は液体窒素容器内の液体窒素で冷却される銅製コールドフィンガーに固定されて冷却されている。1段目の検出器101に設けられた複数の陽極ストリップ及び複数の陰極ストリップからの信号はそれぞれの前置増幅器によって増幅される。同様に、2段目の検出器102に設けられた複数の陽極ストリップ及び複数の陰極ストリップからの信号、3段目の検出器103に設けられた複数の陽極ストリップ及び複数の陰極ストリップからの信号もそれぞれの前置増幅器によって増幅される。図には、1段目の検出器101の陰極ストリップ及び陽極ストリップに接続されている前置増幅器を、それぞれ前置増幅器1及び前置増幅器3で代表させて表示し、2段目の検出器102の陰極ストリップ及び陽極ストリップに接続されている前置増幅器を、それぞれ前置増幅器2及び前置増幅器4で代表させて表示し、3段目の検出器103の陰極ストリップ及び陽極ストリップに接続されている前置増幅器を、それぞれ前置増幅器5及び前置増幅器6で代表させて表示した。

10

【0033】

それぞれの前置増幅器の出力信号は、図11に詳細を示す信号処理回路32に入力される。この信号処理回路32は、入力信号がDOIストリップのものであったならば出力Aにエネルギー信号を出力し、出力Tに時間信号を出力する。DOIストリップのものでなかったならば出力Aの信号はTOIの測定に利用され、出力Tには信号を出力しない。図11に図示するように、信号処理回路32に入力された信号は4つに分けられ、それぞれ波形弁別器41、振幅測定器42、成形増幅器43、TFA44に入力される。

20

【0034】

ここで、図10及び図11に示した各要素回路の動作について説明する。前置増幅器31は電荷感应型前置増幅器と呼ばれるもので、ガンマ線の相互作用によって検出器中に生成される電荷量に比例した波高の信号を出力する。波形弁別器41は、前置増幅器31の出力波形が、ある閾値を超えた後、300 ns後にもある波高を保っていればゲート信号を出力し、そうでなければ何も出力しないように設定されている。振幅測定器42は、前置増幅器31の出力の、最大値と最小値の差を出力する回路である。成形増幅器43は、前置増幅器31の波高に比例した波高の出力を精度良く出力するため、セミガウシアン型の波形を生成する。この回路は、CRの微分回路の後にRCの積分回路を多段つなげて実現される。TFA(タイミング・フィルタ・アンプ)44は、帯域通過回路になっている。ここでは、低域通過の時定数を50 ns、高域通過の時定数を500 nsとした。

30

【0035】

CFD45は、コンスタント・フラクシオン・ディスクリミネータと呼ばれる市販の回路であり、その動作原理を図12より説明する。(a)に示す入力信号51を2つに分け、(b)に示すように、入力信号51を t_d だけ遅らせた信号52と、(c)に示すように、入力信号51を反転させ振幅を f 倍した信号53を作る。その後、(d)に示すように、信号52と信号53を足し合わせた信号54を作ると、その波高が0になる時間 t_f は、入力信号51の波高が最大値の f 倍になる時間に t_d を加えた時間になる。こうして、立ち上がり波形あるいは立ち下がり波形の信号をCFDに通すことにより、波高の最大値の f 倍になるまでの時間を知ることができる。

40

【0036】

同時計測回路33は、入力信号の時間差がある設定値より短かった場合、ゲート信号を出力する回路である。ゲート信号の幅と遅延時間は可変である。3つの検出器101, 102, 103のうちのどれか2つだけでガンマ線の相互作用を検出した事象を同時計測回路33で選択し、データを取得する。時間差記録器35は、同時計測回路33のゲート信

50

号出力をスタート信号として使い、信号処理回路32の出力Tを遅延回路34で遅らせた信号をストップ信号として使い、スタート信号とストップ信号の時間差を記録する回路である。波高記録器36は、同時計測回路33のゲート信号が出力されている間の、信号処理回路32の出力Aの信号の波高の最大値を記録する回路である。

【0037】

次に、図10及び図11に示した信号処理部の動作について説明する。波形弁別器41では、入力された信号がDOIストリップのものであるか、そうでないかが調べられる。もしDOIストリップであったならばゲート信号を出力し、振幅測定器42の出力信号を出力しないようにすると同時に、成形増幅器43及びCFD44の出力信号を出力できるようにする。逆に、DOIストリップでなかったならば、ゲート信号を出力せず、振幅測定器42の出力信号を出力できるようにし、成形増幅器43及びCFD44の出力信号を出力しないようにする。振幅測定器42では、DOIストリップではなかった場合に、入力信号の最大値と最小値の差が測定され出力される。成形増幅器43からは、エネルギーの測定に適した波形の信号が生成される。TFA44では、時間の測定に適した波形の信号が生成される。TFA44の出力はCFD45に入力され、波高の最大値の50%になったときに出力信号を生成する。

【0038】

信号処理回路1、信号処理回路2及び信号処理回路6の信号がDOIストリップのものであったとすると、それぞれの出力Tの信号が同時計測回路33に入力される。それらの入力信号の間の時間差が、ある設定値よりも短かったならば、同時計測回路33からゲート信号が出力され、時間差記録器35及び波高記録器36を作動させる。時間差記録器35のストップ信号は、出力Tの信号を、遅延回路34を通して作られる。波高記録器36の入力には、出力Aの信号が入力される。

【0039】

上述のようにDOIストリップの信号に対してのみ、信号処理回路32の出力Tが出力される。つまり、時間差記録器35の、DOIストリップに対応するチャンネルにのみデータが作られる。そして、データ転送の処理により、波高記録器36のデータのうちで、このチャンネルに対応するデータと、その両隣のチャンネルのデータを転送する。時間差記録器35及び波高記録器36のデータは、測定事象ごとにコンピュータ37に転送され、画像生成のための処理が行われる。転送されるデータの内訳を図13に示す。

【0040】

図13において、 t_1 から t_4 は時間差記録器35のデータである。 t_1 及び t_3 は散乱検出器の陰極ストリップ及び陽極ストリップのデータであり、 t_2 及び t_4 は吸収検出器の陰極ストリップ及び陽極ストリップのデータである。それぞれのデータには、チャンネルを特定するためのID情報とそのチャンネルから得られた数値が組になって記録されている。 E_1 以降は波高記録器36のデータである。 E_1 及び E_3 は散乱検出器のそれぞれ陰極及び陽極のDOIストリップによるデータであり、 E_2 及び E_4 は吸収検出器のそれぞれ陰極及び陽極のDOIストリップによるデータである。 A_{1+} 及び A_{1-} は、散乱検出器の陰極のDOIストリップの両隣のストリップ(TOIストリップ)によるデータである。 A_{2+} 及び A_{2-} は、吸収検出器の陰極のDOIストリップの両隣のストリップ(TOIストリップ)によるデータである。 A_{3+} 及び A_{3-} は、散乱検出器の陽極のDOIストリップの両隣のストリップ(TOIストリップ)によるデータである。 A_{4+} 及び A_{4-} は、吸収検出器の陽極のDOIストリップの両隣のストリップ(TOIストリップ)によるデータである。

【0041】

コンピュータ37によるデータの処理の流れを図14に示す。この処理は、検出事象の数だけ繰り返し行われる。ステップ11にてデータを読み込んだのち、ステップ12で検出パターンの検査を行う。この検出パターンの検査は、時間差記録器35のデータにより行う。時間差記録器35のあるチャンネルにデータが存在した場合、そのデータの元となったストリップはDOIストリップであったことになる。ここでは、散乱検出器及び吸収

検出器のそれぞれの陰極及び陽極のストリップのうちでそれぞれ1つだけがDOIストリップであった場合にのみ次の処理に進む。検出器に同時に2個のガンマ線が入射するなどしてDOIストリップの信号が2つ以上となった場合、その事象は後の解析から除外する。次に、ステップ13においてエネルギーの検査を行う。このエネルギーの検査は、波高記録器36の E_1 及び E_2 を使って行う。 E_1 と E_2 の和が目的のガンマ線のエネルギーと等しい場合にのみ次の処理に進む。ステップ14のDOIの演算は、時間差記録器35のデータを使って行う。 t_1 と t_3 の差から散乱検出器におけるDOIが計算され、 t_2 と t_4 の差から吸収検出器におけるDOIが計算される。続くステップ15のTOIの演算は、波高記録器36のデータを使って行う。ここでは、陰極の分割の方向をX方向、陽極の分割の方向をY方向とする。 A_{1+} 及び A_{1-} から散乱検出器のX方向のTOIが計算され、 A_{3+} 及び A_{3-} から散乱検出器のY方向のTOIが計算される。同様に、 A_{2+} 及び A_{2-} から吸収検出器のX方向のTOIが計算され、 A_{4+} 及び A_{4-} から吸収検出器のY方向のTOIが計算される。こうして、散乱検出器中と吸収検出器中での相互作用点が高精度に求められる。次に、ステップ16に進み、散乱検出器で検出されたエネルギー E_1 と吸収検出器で検出されたエネルギー E_2 を上式(2)に当てはめてコンプトン散乱角 θ を計算する。

【0042】

こうして複数の検出事象の各事象毎に、散乱検出器中での相互作用点、吸収検出器中での相互作用点、コンプトン散乱角 θ の情報をもとに図4に示したような円錐面が計算される。そこで、検出されたガンマ線エネルギー E ($=E_1 + E_2$)から同一核種から放出されたガンマ線に起因すると判断される事象を集め、その事象の集合に属する円錐面を重ねることによってその核種の存在位置を求めることができ、線源の空間分布を像として表示することができる。

【0043】

E_1 と E_2 の和が複数あってガンマ線源として複数の核種が存在する場合には、コンプトン散乱の運動学で計算された円錐面をエネルギーによって核種毎にグループ化し、それぞれの核種に対して独立して円錐面を重ねることによって各核種の存在位置を分離して求めることができる。

【0044】

本発明のガンマ線検出装置を使うと、低いエネルギーのガンマ線は主にシリコン検出器でコンプトン散乱され、散乱されたガンマ線は後方のゲルマニウム検出器で検出される。一方、高いエネルギーのガンマ線はシリコン検出器を透過しやすくなるので、従来通りの2枚のゲルマニウム検出器によって検出することができる。これによって、約100keV程度の低エネルギーのガンマ線から2MeV程度の高エネルギーのガンマ線まで高効率で検出することが可能になる。

【0045】

ここで、本発明によってどの程度、検出効率が改善するかを評価した例を示す。図15に示したガンマ線検出器の組み合わせについて、ガンマ線の検出効率を比較した。図15(a)は、本発明のガンマ線検出装置が採用した検出器の組み合わせであり、1段目の検出器は厚さ10mmのシリコンからなり、2段目の検出器は厚さ10mmのゲルマニウム、3段目の検出器は厚さ20mmのゲルマニウムからなるものとした。図15(b)は、比較例のガンマ線検出装置を示し、1段目の検出器は厚さ10mmのシリコンからなり、2段目の検出器は厚さ20mmのゲルマニウムからなる。図15(c)も、比較例のガンマ線検出装置を示し、1段目の検出器は厚さ10mmのゲルマニウムからなり、2段目の検出器は厚さ20mmのゲルマニウムからなる。いずれの場合も、検出器の縦・横の寸法は39mm×39mmとし、検出器の間隔は30mm、ガンマ線源は1段目の検出器の前方30mmの位置にあるとした。

【0046】

図15に示した各検出器の組み合わせについて、ガンマ線源から放出される100keV及び1000keVのガンマ線を撮像した場合の検出効率をモンテカルロシミュレーション

ョンによって比較した。図16はガンマ線のエネルギーが100keVの場合の検出効率を示し、図17はガンマ線のエネルギーが1000keVの場合の検出効率を示している。

【0047】

図16及び図17中の「Ge+Ge」は図15(c)に示した比較例のガンマ線検出装置、「Si+Ge」は図15(b)に示した低エネルギー用のガンマ線検出装置、そして「Si+Ge+Ge」は図15(a)に示した本発明によるガンマ線検出装置を示す。ガンマ線のエネルギーが100keVのとき、Ge+Geの組み合わせの検出装置は検出効率が著しく低下しているが、Si+Ge+Geの組み合わせの検出装置はSi+Geの組み合わせの検出装置と同等の検出効率を得られることがわかる。また、ガンマ線のエネルギーが1000keVの場合、本発明の検出装置はSi+Geの組み合わせの検出装置に比べて2倍以上の検出効率を得られていることがわかる。こうして、本発明によると、エネルギーが約100keVから2MeVの範囲のガンマ線を、高解像度・高効率で撮像可能な装置をコンプトンカメラ方式で実現することができる。

10

20

30

40

50

【0048】

図18は、本発明によるガンマ線検出装置で撮像した場合に、どの検出器の組み合わせでどのような頻度で相互作用が起こるかを示す図である。図中のGe1+Ge2、Si+Ge2及びSi+Ge1はそれぞれ2段目と3段目、1段目と3段目及び1段目と2段目の検出器の組み合わせを示す。エネルギーが100keVの場合は94.28%がSi+Ge1で相互作用が起こっており、3段目の検出器の寄与は小さい。しかし、エネルギーが1000keVの場合は、63.44%がGe1+Ge2で相互作用が起こっていることがわかる。つまり、この発明によって、低エネルギーから高エネルギーまで検出効率が改善されることがわかる。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】コンプトン散乱の生起確率を説明する図。

【図2】ゲルマニウム結晶とシリコン結晶中におけるコンプトン散乱の生起確率と結晶の厚さとの関係を示した図。

【図3】本発明によるガンマ線検出装置におけるガンマ線検出器の配置を示す模式図。

【図4】本発明によるガンマ線撮像装置の検出部の概略構成図と、ガンマ線源の検出原理を示した図。

【図5】本発明による電極分割型平板ガンマ線検出器の構造例を示す図。

【図6】電極分割型平板ガンマ線検出器の陽極及び陰極の出力信号をシミュレーションした図。

【図7】陽極と陰極間における、信号波形の振幅が最大値の50%に達するまでの時間の差とDOIの関係を示す図。

【図8】ガンマ線の相互作用点の横方向の位置の測定法の説明図。

【図9】TOIと図6で定義したパラメータの関係を示す図。

【図10】本発明によるガンマ線撮像装置の信号処理部の例を示す概略ブロック図。

【図11】信号処理回路の詳細図。

【図12】CFDの動作原理を説明する図。

【図13】コンピュータに転送されるデータの内訳を示す図。

【図14】コンピュータによるデータ処理のフローチャート。

【図15】ガンマ線検出装置の構成例を示す図。

【図16】ガンマ線検出装置の検出効率を比較して示した図。

【図17】ガンマ線検出装置の検出効率を比較して示した図。

【図18】相互作用した検出器の組み合わせの説明図。

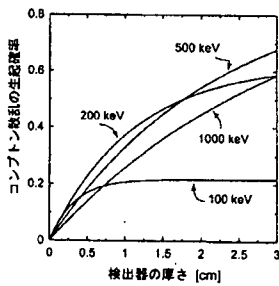
【符号の説明】

【0050】

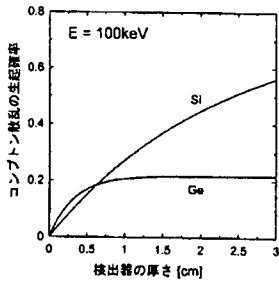
10:検出部、11:散乱検出器、12:吸収検出器、13:ガンマ線源、14、15:ガ

ンマ線、20：ガンマ線検出結晶、21：陽極ストリップ、22：陰極ストリップ、31：前置増幅器、32：信号処理回路、33：同時計測回路、34：遅延回路、35：時間差記録器、36：波高記録器、37：コンピュータ、41：波形弁別器、42：振幅測定器、43：成形増幅器、44：TFA、45：CFD、101：1段目の検出器、102：2段目の検出器、103：3段目の検出器

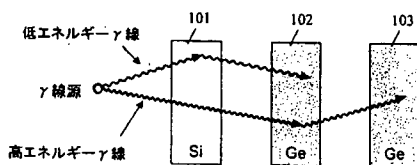
【図1】



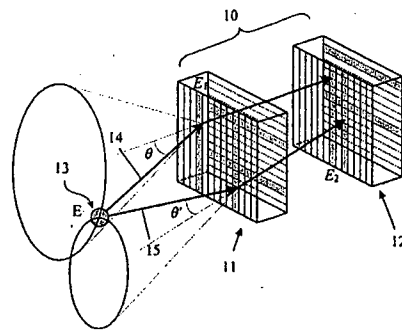
【図2】



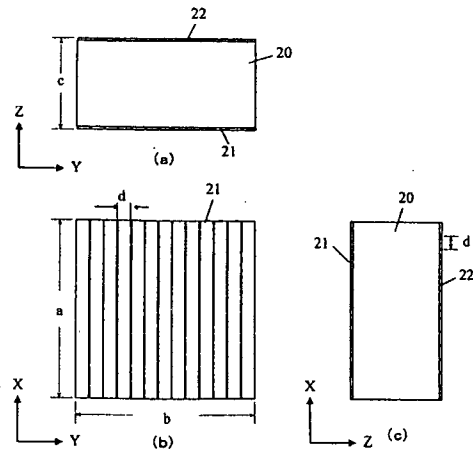
【図3】



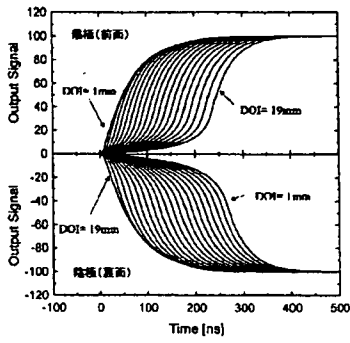
【図4】



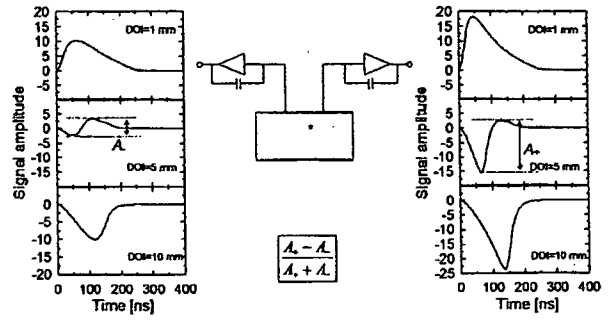
【図5】



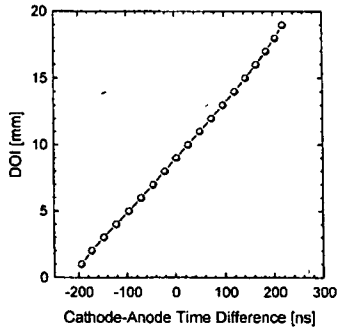
【図6】



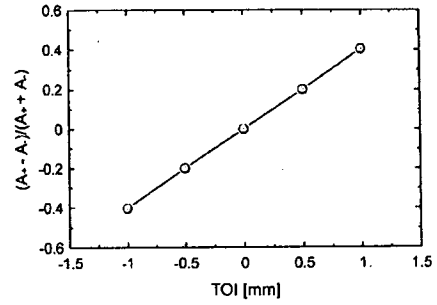
【図8】



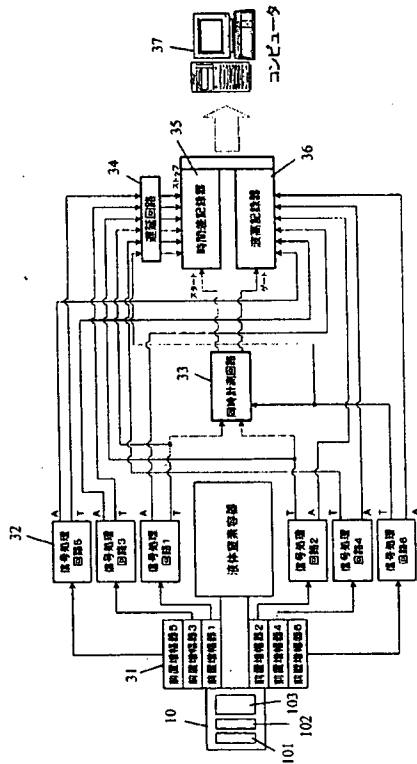
【図7】



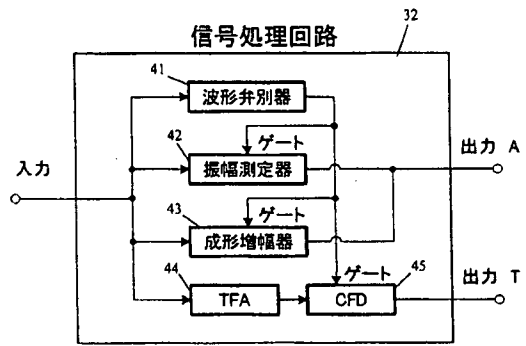
【図9】



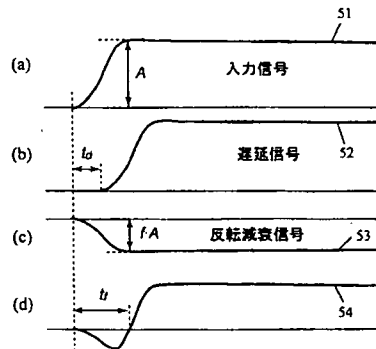
【図10】



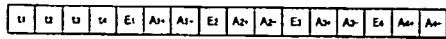
【図11】



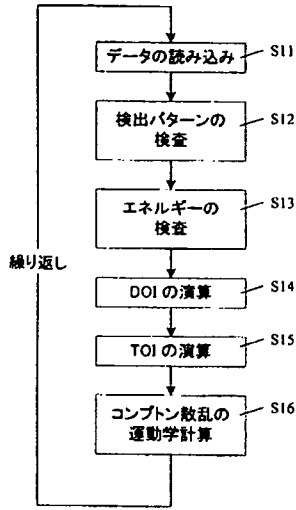
【図12】



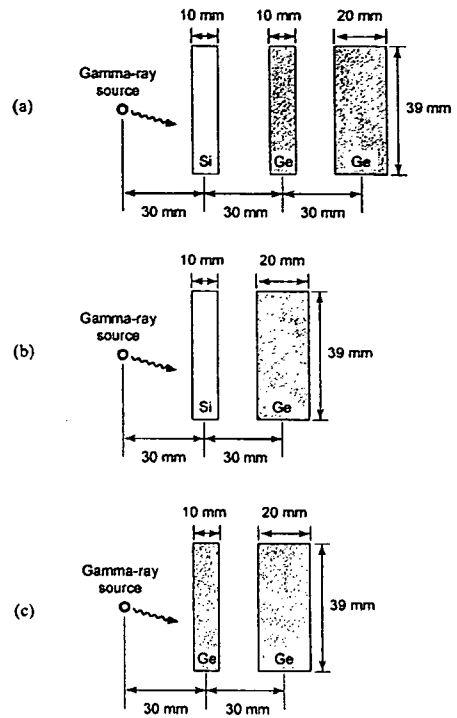
【 図 1 3 】



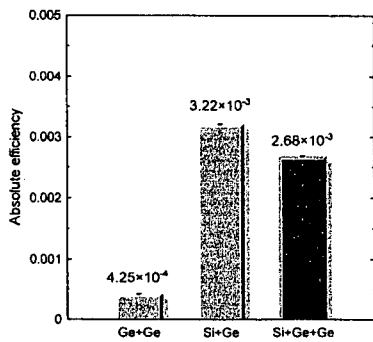
【 図 1 4 】



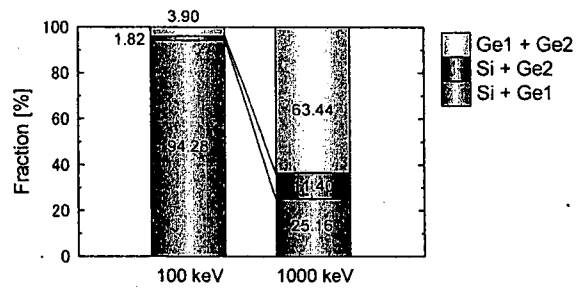
【 図 1 5 】



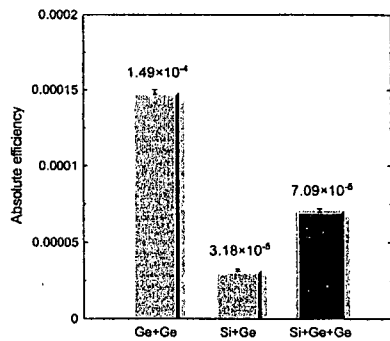
【 図 1 6 】



【 図 1 8 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G088 EE29 FF04 FF18 GG21 JJ01 JJ05 JJ32 KK02 KK09 KK15
KK35 LL18



研究ユニットでは、理研神戸研究所分室イメー

独自の研究集団 理研の最前線

▷▷44

新学問分野で独自の研究を展開

特徴生かした研究

近年、生体中の金属に
関与する研究領域を創設
するところが増え、か
つて名古屋大学大学院工
学研究所の原口敏彦教授
(現名誉教授)が唱えた
「Metalloionic
s」(メタロイオン)とい
う学術用語が一般的に
広まり始めた。メタロイ
オン研究ユニットは、そ
の概念に立脚して、新し
いメタロイオン研究の体
系を創出することを目指
し、07年6月にスタート
した。

仁科加速器研究センタ
ット・ユニニットリーダー

榎本 秀一

シンク研究プログラム

(複数分子同時イメージ
ング装置)と連携し、
複数分子同時イメージ
ング装置の開発とイメージ
ングデータの取得に取
り組んでいる(平成20年
度厚生労働省科学研究
費、NEDO分子イメ
ージング機関連プロジェクト
採択テーマ)。この
テーマは、原子核物理
学、加速器科学、核化
学、医学、薬学および生
化学など、異なる分野の
研究者のコラボレーショ
ンによってはじめて実現
できる研究テーマであ
り、その特徴として、
生かした研究とイメー
ジング装置を使用する原子核
型装置を使用する原子核
型装置を使用する原子核
型装置を使用する原子核

物産学研究者が開発して
いた半導体コンプトンカ
メラを、核医学で腫瘍医
学の研究者が利用して、
世界ではじめて半導体コ
ンプトンカメラによる複
数分子同時イメージング
に成功した。

多元的診断可能に
現在、核医学の分野で
複数の放射性薬剤を同時
に投与し、撮像できるよ
うにする。無性腫瘍と
有性腫瘍との区別、
転移した腫瘍が生着する
かどうかの判定など、多
元的な診断が可能にな
る。

その後、1974年には
医学診断用の装置として
提案されたが、実際の開
発は行われてこなかっ
た。03年、当時RI技術
開発研究員であった私
は、本村謙樹科学特別研
究員(当時)らとともに
、電極分離型アルミニ
ウム半導体検出器を用い
て、世界ではじめて動植

複数分子同時イメージング装置 広い放射性薬剤に対応

用いられている陽子放
射断層診断装置(PET
)は、使用する放射性
医薬品の一種類のガンマ
線を測定している。この
ため、複数の放射性薬剤
を併用しての同時撮像は
原理的に不可能である。
無性腫瘍を画像診断する
際、転移や潰瘍を区別
して撮像できるものは
その数は一例である。

み合わせた核医学診断を
可能にする新型診断装置
である。この装置は半導
体検出器によるコンプ
トンカメラ方式を採用した
複数分子同時イメージ
ング装置(GREI)と、
コンプトンカメラ
のアルミニウム自体は決
して新しいものではなく、
既に、核医学用の装置
として提案されていた。

物における複数分子同時
イメージングに成功し
た。
現在のGREI装置
は、両面置交ストリッ
プ電極式の平板型アルミニ
ウム検出器を台平行に
並べた構造のコンプトン
カメラ、ゲルマニウム
の前後にシリコン検出器
を実装した装置の開発中
である。これにより、ガ
ンマ線測定可能エネルギー
範囲が、80~2000
keVと幅広い。ま
たこの装置のエネルギー

複数分子同時イメージング

■ 特性の異なる複数の分子プローブを同時に追跡し、生体内動態や代謝過程などの多角的な情報を得る→高度で正確な診断

プローブAの分布 + プローブBの分布 → 重ね合わせた分布

■ 多核種同時γ線イメージング装置(GREI)と放射性薬剤の開発

- ・分子の識別
- ・体外計測

薬剤ごとによる異なるγ線放出核種で標識
→ γ線エネルギーによって識別、低・非侵襲的診断

GREIは作製

一分解能は高く、空間分
解能が約0.5cm以下
の精度で測定することが
可能となる。
実用的撮像に向け
この装置はガンマ線の
入射方向を制限するため
の部材を用いていないの
で、検出器に近い領域で
は、試料に対して固定し
た方向からの撮像する
だけでなく、ガンマ線放
核の分布を複数の方向に

射影した3
次元分布の
情報が得ら
れる。現
在、より実
用的な撮像
を行うた
め、新たな
信号波形の
解析法を開
発し、測定
精度と検出
効率を高め
ている。
数年以内
に装置の
性能を改善
できれば、
実用レベル
の撮像が可能となる。こ
れによって、広い放射性
薬剤に対応できる、わか
りやすい初期の汎用的なガンマ線
非破壊画像化装置(新核
医学診断装置)が開発す
ることができるよう。すで
に、この装置のための放
射性医薬品開発も、分子
イメージング研究コン
ラムと共同で推進してお
り、実用化は近いと見

悪性腫瘍を簡単判別

診断用カメラ

理研が宇宙技術応用 撮影1回で



理化学研究所は、がんなど悪性腫瘍(しゅよう)と胃潰瘍(かいよう)などの炎症を簡単に判別するの役に立つ新型の診断用カメラを開発した。従来は別の検査と組み合わせる必要があったが、新型なら一度の撮影で済むとみている。宇宙観測で使われてきた技術を応用した。宇宙航空研究開発機構(JAXA)などと組んで三年後の実用化を目指す。

がん細胞には糖が集まる性質がある。陽電子放射断層撮影装置(PET)を使う従来手法では糖が集まる部分を撮影画像で

見つけ、がん組織と推定している。しかし悪性度の低い炎症性疾患などにも集まることがあり、悪性腫瘍と見分けるのが難しい場合があった。

新型カメラの手法は糖以外にも同時にとらえて、診断の手がかりを増やせるのが特徴。例えば、細胞分裂が活発な場所に集まる特殊な分子を使い調べる。糖と

特殊な分子に放射線を出す物質を付けて投与し、放射線を撮影することで体内のどこに集まっているかを見る。悪性腫瘍ではがん細胞が頻繁に分裂を繰り返すため、糖と特殊分子の両方が集まる。糖しか集まらない炎症な

どと区別できる仕組み。従来のカメラは糖と特殊分子のそれぞれの放射線を区別できなかった。新型カメラは宇宙観測や原子核実験の分野で使わ

れてきた技術を応用、異なる場所を四―五ミリ四方なる放射線を見分けることができる。ネズミで三種類の放射線を見分ける実験をしたところ、それぞれが集ま

る場所を四―五ミリ四方の精度で特定できた。体内の立体構造を推定したり断層画像を作ったりもできるため、病変の位置を正確に把握できる。

Low noise Double-sided Silicon Strip Detectors for hard X-ray imaging spectroscopy

Shin'ichiro Takeda, Tadayuki Takahashi, Kazuhiro Nakazawa, Shin Watanabe, Hiroyasu Tajima, Takaaki Tanaka, and Yasushi Fukazawa

The low noise double-sided silicon strip detector (DSSD) technology is attractive for future astronomical missions or/and medical imaging as a high quality hard X-ray imaging device.

A photon counting imaging spectrometer for hard X-rays (10–50 keV) is critical to realize focal plane detectors of next generation hard X-ray telescopes. CCDs (Charge-Coupled Devices) with exquisite energy resolutions (down to ~ 140 eV at 6 keV) have been widely used for X-ray imaging below 10 keV in astronomy. Efforts have been made to extend the energy coverage to hard X-rays by developing fully-depleted CCDs with $>300 \mu\text{m}$ thickness. However, still, this would not provide sufficient efficiency for hard X-rays while also increasing the background due to a larger detector volume. Besides sufficient device thickness for higher energy photons, good timing resolution ($< 1 \mu\text{s}$) is essential in order to minimize backgrounds (and achieve high sensitivity) using an active anti-coincidence shield.

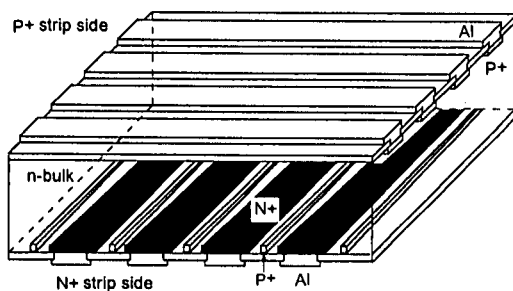


Figure 1: Cross section view of a DSSD. The orthogonally implanted n and p strips on both sides of the detector provide two-dimensional coordinate measurements.

The double-sided silicon strip detector (DSSD), which was developed as a charged particle detector in particle physics, is one promising candidate for the hard X-ray detector. The ba-

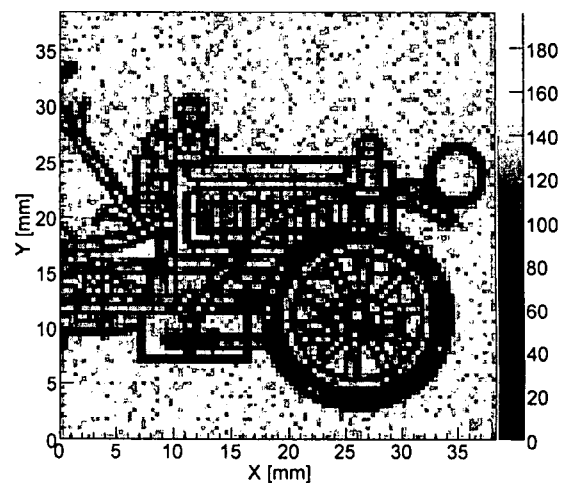


Figure 2: A shadow image using X-rays from ^{133}Ba in an energy band from 20 to 40 keV.

sic strip geometry, orthogonally implanted n and p strips on both sides of the detector (Figure 1), provides two-dimensional coordinate measurements for absorbed particles such as X-ray photons. The $500 \mu\text{m}$ thick device is practical (described later), and has $\sim 40\%$ photo-absorption efficiency for 20 keV. The improvement of efficiency for higher energy photons is possible by stacking fully depleted DSSDs. If a total thickness of 1 cm is obtained by stacking 20 layers, above 70% efficiency for 40 keV can be achieved. However, one issue for hard X-ray detection is noise performance since the signal generated by a hard X-ray photon is much smaller than that by a charged particle. In order to achieve the required noise performance, we optimized the geometry of the DSSD and read-out electronics.

The DSSD geometry is carefully optimized to minimize strip capacitance since the strip capacitance is generally larger than the pixel capacitance due to a large inter-strip capacitance. The

Continued on next page

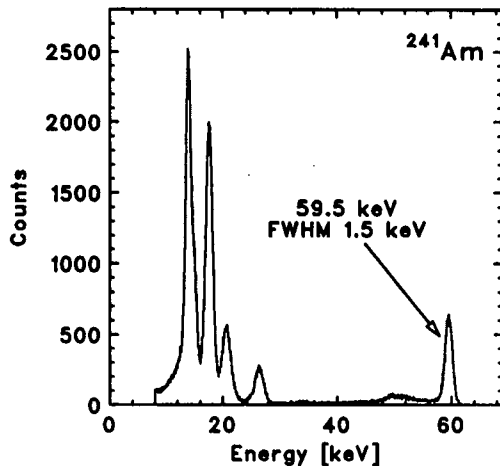


Figure 3: Spectrum of ^{241}Am on p-side

strip pitch varies from $100\ \mu\text{m}$ to $400\ \mu\text{m}$ depending on the plate scale and the point spread function of the telescope. A wider strip gap reduces the strip capacitance while also causing higher electric field concentration at the edge of the p-n junction. We impose an upper limit of $100\ \mu\text{m}$ on the strip gap to minimize the possibility of the junction breakdown. Similarly, the optimization of the DSSD thickness is a trade off between the interaction efficiency and the depletion voltage. We chose $500\ \mu\text{m}$ for the DSSD thickness in order to keep the operation voltage below 200 V.

Another key technology to realize a low noise DSSD system is low noise front-end electronics. We have developed the low noise front-end ASIC¹ (Application Specific Integrated Circuit), VATA series, in collaboration with IDEAS ASA, Norway. The geometry of the front-end FET and the shaping time ($\sim 4\ \mu\text{s}$) is optimized for input capacitance of 6–10 pF and leakage current of less than 0.1 nA with a power constraint of 0.2 mW/channel. The typical noise performance is $50\ e^-$ (RMS) at 0 pF load and $180\ e^-$ at 10 pF, which corresponds to 1.4 keV (FWHM) in Si with $2\ \mu\text{s}$ shaping time. The electronics channel is DC-coupled to the silicon strip to avoid degradation of the noise performance due to extra components associated with the AC-coupling.

Figure 2 shows the ^{133}Ba line image integrated in the energy band from 20 to 40 keV. The classic style car mask, made of 0.3 mm thick brass, was mounted 3 mm above the DSSD. The DSSD used here is 4 cm wide with $300\ \mu\text{m}$ thickness and $400\ \mu\text{m}$ strip pitch manufactured by Hamamatsu Photonics, Japan² (The thickness of the this DSSD is thinner than the optimum for testing purposes). The position resolution is confirmed to be consistent with the strip pitch of the DSSD. Figure 3 is the sum of the ^{241}Am energy spectrum for all 96 strips on p-strips. The energy resolution is measured to be 1.5 keV

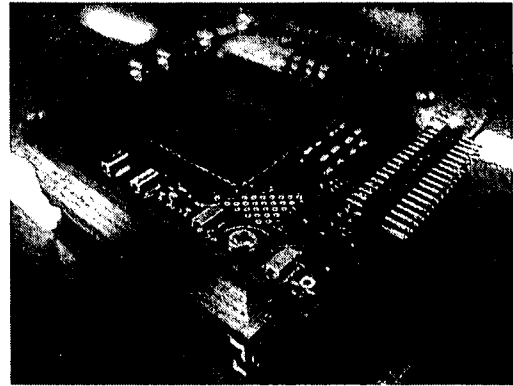


Figure 4: Newly developed DSSD stack module consists of four-layer DSSDs with a pitch of 2 mm.

(FWHM), which is consistent with the value calculated from the VA32TA noise performance and input capacitance ($\sim 12\ \text{pF}$).

As a next step, we tried to develop the stacking technology of the DSSDs, which is a key to obtain sufficient efficiency in the higher energy band. Figure 4 shows the prototype of a DSSD stack module. Total four newly developed DSSD boards, which consist of one 2.56 cm wide and $300\ \mu\text{m}$ thick DSSD and the read-out ASIC mounted on each side of the DSSD, are stacked with a 2 mm pitch. All layers are successfully operated with the high energy resolution of 1.6 keV (FWHM)³. We also checked the improvement of the efficiency which corresponds to a total thickness of 1.2 mm ($300\ \mu\text{m} \times 4$ layers). It should be noted that this technology is scalable, so that a total 1 cm thickness is practicable with 10–20 layers.

We have demonstrated the performance of a low noise DSSD system. The characteristics such as fine energy and position resolution, good uniformity and good timing resolution are attractive features for high quality hard X-ray imaging spectroscopy. We also fabricated the technology of a high-density compact DSSD stack, which is a key to improve efficiency. The flight model development of the DSSD system for the Hard X-ray Imager onboard the NeXT mission⁴, the planned 6th Japanese X-ray satellite, is on going. Imaging detectors in 10–100 keV would be attractive in various fields such as astrophysics, medical and nondestructive inspection. For these purposes, the development the next generation Compton Camera is now underway^{5,6}.

Author Information

Shin'ichiro Takeda, Tadayuki Takahashi, and Shin Watanabe

Continued on next page

Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)/ JAXA
Sagamihara, Japan

Shin'ichiro Takeda is a PhD student, a JSPS Research Fellow,
at ISAS/JAXA and the University of Tokyo.

Tadayuki Takahashi is a professor in the Department of High
Energy Astrophysics at ISAS/JAXA.

Shin Watanabe is an assistant professor in Department of High
Energy Astrophysics at ISAS/JAXA.

Hiroyasu Tajima and Takaaki Tanaka
Stanford Linear Accelerator Center (SLAC)
Menlo Park, CA

Hiroyasu Tajima is a staff scientist at SLAC.

Takaaki Tanaka is a JSPS Postdoctoral Fellow at SLAC.

Kazuhiro Nakazawa
University of Tokyo
Tokyo, Japan

He is a lecturer in the Department of Physics, working on high-
energy astrophysics.

Yasushi Fukazawa
Hiroshima University
Higashi-Hiroshima, Japan

He is an associate professor in Hiroshima University.

References

- [1] H. Tajima et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 51, pp. 842-847, 2004.
- [2] K. Nakazawa et al. Nucl. Instr. and Meth. A., vol. 573, pp. 44, 2007.
- [3] S. Takeda et al. Nucl. Instr. and Meth., A., vol 579/2., pp. 859-865,
2007.
- [4] T. Takahashi et al. Proc. SPIE vol. 6266, 2006.
- [5] T. Takahashi et al. Proc. SPIE, vol.4851, pp. 1228-1235, 2003.
- [6] S. Takeda et al. Proc. SPIE vol. 6706, 2007 in press.

開発項目「半導体コンプトンカメラによる複数分子同時イメージング機器の開発に係わる先導研究」
平成19年度～平成20年度のうち平成19年度分中間年報

作成者：独立行政法人理化学研究所

1. 研究開発の内容及び成果等

(1) Ge コンプトンカメラの空間解像度向上のための開発

両面直交ストリップ電極式 Ge 半導体検出器における検出信号処理法の高度化により、 γ 線相互作用位置の高精度測定法の開発を進行中。信号波形解析の結果から、信号波高を比較と信号積分値を比較する方式を考案。電子回路シミュレーション結果と比較しながら信号処理回路を試作し、現有装置と組み合わせた実証実験を行った。

(2) Ge コンプトンカメラの感度向上のための開発

検出器シミュレーターGEANT4により、 γ 線トラッキング法を用いた場合の GREI 装置の測定効率を評価。GREI の後段検出器(39 x 39 x 20 mm)に、500keV の γ 線が入射した場合、現 GREI に γ 線トラッキング法を採用すると最大約 3.4 倍の測定効率の向上することが判明。また、同シミュレーションにより、デジタル波形処理等による信号分解を適用した場合、 γ 線トラッキング法により最大約 7.6 倍の測定効率向上が可能と試算した。

シミュレーションデータを用いて、 γ 線トラッキング法のアルゴリズム開発を行い、GREI へ実装。その結果、測定効率が約 1.8 倍向上。さらに改良により、3.4 倍に向上可能であることが判明した。この後の画像再構成の結果に基いた実装法の検討が可能になった。

(3) Si/Ge コンプトンカメラの開発

現有の Ge コンプトンカメラの前面に位置感応型 Si 検出器を追加することにより、SPECT 核種、PET 核種および新核医学核種の同時撮像を可能にする新しい撮像装置の創出を推進している。平成 19 年度はモンテカルロシミュレーションによるこの撮像装置の原理の検証を行った。その結果、100 keV 程度の低エネルギーの γ 線に対して期待通りの感度の向上を示すデータが得られ、JAXA で開発された Si 両面ストリップ検出器の使用を考慮した詳細な検討の準備が整った。

(12) Ge と Si/CdTe による小動物実験と既存モダリティとの比較、臨床用装置開発のための先導研究

理研 GREI 装置における複数分子同時分子イメージングに成功。世界で始めてリアルタイム代謝イメージングを達成。同時に小動物用 microPET によるイメージング像と比較も行った。

小動物イメージング実験などの長期間継続的な撮像実験に際し、現有 Ge コンプトンカメラの信号処理回路増幅率の安定性に問題があることが明らかになった。当該問題の解決には、放射線計測分野で汎用されるスペクトロスコーピーンプを導入することで解決可能なことを明らかにした。

理研 GREI 装置により、PET 用核種などの 500keV 程度以下の γ 線を撮像すると、画像中に γ 線の後方散乱事象の影響が顕著に現れることが明らかになった。この後方散乱事象を γ 線エネルギースペクトルの情報を用いて除去する方法を考案し、後方散乱事象の影響を除去した画像を生成することに成功した。理研 GREI 装置により、短寿命 PET 核種を撮像する場合、撮像開始時に放射能強度の強いトレーサーを投与する必要があるが、現有 Ge コンプトンカメラは取得データの転送装置の部分に問題があり、計測時間の多くがデッドタイムになってしまうことが明らかになった。この解決のため、データ処理装置や転送装置を改善したシステムの導入をはかり、次年度に問題を解決に着手することとした。

JAXA の Si/CdTe コンプトンカメラによる、 ^{85}Sr , ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ などの放射性核種を用いた小動物複数分子同時イメージングを行った。この撮像実験で、次年度の改良に役立てるためのデータが得られた。

2. 成果（当該年度分についてのみ記載）

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

【誌上发表】

- 1) Motomura S., Kanayama Y., Haba H., Wtanabae Y., and Enomoto S.: "Multiple Nuclide Imaging in Live Mouse Using Semiconductor Compton Camera for Multiple Molecular Imaging," *J. Anal. Atom. Spect.*, submitted.
- 2) Enomoto S.: "Development of multi-elemental molecular imaging on semiconductor compton

- telescope as a tool for metallomics reaserch," *J. Chem. Soc.*, submitted.
- 3) Yamashita Yoshiro, Takahashi Yoshio, Haba Hiromitsu, Enomoto Shuichi and Shimizu Hiroshi: "Comparison of reductive accumulation of Re and Os in seawater-sediment systems," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(14), 3458 (2007).
 - 4) Motomura S., Enomoto S., Haba H., Igarashi K., Gono Y., and Yano Y.: "Gamma-Ray Compton Imaging of Multitracer in Biological Samples using Strip Germanium Telescope," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 54, 710-717(2007).
 - 5) Kosuke Morita, Kouji Morimoto, Daiya Kaji, Takahiro Akiyama, Sin-ichi Goto, Hiromitsu Haba, Eiji Ideguchi, Kenji Katori, Hiroyuki Koura, Hisaaki Kudo, Tetsuya Ohnishi, Akira Ozawa, Toshimi Suda, Keisuke Sueki, Fuyuki Tokanai, Takayuki Yamaguchi, Akira Yoneda, and Atsushi Yoshida: "Experiment on Synthesis of an Isotope $^{277}\text{112}$ by $^{208}\text{Pb}+^{70}\text{Zn}$ Reaction," *J. Phys. Soc. Jpn.*, 76, 043201 (2007).
 - 6) Kosuke Morita, Kouji Morimoto, Daiya Kaji, Takahiro Akiyama, Sin-ichi Goto, Hiromitsu Haba, Eiji Ideguchi, Kenji Katori, Hiroyuki Koura, Hidetoshi Kikunaga, Hisaaki Kudo, Tetsuya Ohnishi, Akira Ozawa, Nozomi Sato, Toshimi Suda¹, Keisuke Sueki, Fuyuki Tokanai, Takayuki Yamaguchi, Akira Yoneda, and Atsushi Yoshida: "Observation of Second Decay Chain from $^{278}\text{113}$," *J. Phys. Soc. Jpn.*, 76, 045001 (2007).
 - 7) Nakagawa Takahide, Higurashi Yoshihide, Kidera Masanori, Aihara Toshimitsu, Haba Hiromitsu, Kase Masayuki, Goto Akira and Yano Yasushige: "Production of ^{70}Zn beam from RIKEN 18 GHz ECR ion source," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 254(2), 337 (2007).
 - 8) H. Haba, K. Tsukada, M. Asai, A. Toyoshima, Y. Ishii, H. Toume, T. Sato, I. Nishinaka, T. Ichikawa, S. Ichikawa, Y. Nagame, W. Sato, K. Matsuo, Y. Kitamoto, Y. Tashiro, A. Shinohara, J. Saito, M. Ito, T. Ikezawa, M. Sakamaki, S. Goto, H. Kudo, H. Kikunaga, M. Arai, S. Kamataki, A. Yokoyama, K. Akiyama, K. Sueki, Y. Oura, M. Schadel, W. Bruchle, and J. V. Kratz: "Extraction Behavior of Rutherfordium into Tributylphosphate from Hydrochloric Acid," *Radiochim. Acta*, 95, 1-6 (2007).
 - 9) H. Haba, D. Kaji, H. Kikunaga, T. Akiyama, N. Sato, K. Morimoto, A. Yoneda, K. Morita, T. Takabe, and A. Shinohara: "Development of Gas-jet Transport System Coupled to the RIKEN Gas-filled Recoil Ion Separator GARIS for Superheavy Element Chemistry," *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, 8, 55-58 (2007).

【口頭発表】

- 1) 金山洋介、本村信治、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一：“多核種同時イメージング装置を用いた生体マウスにおける ^{65}Zn 、 ^{85}Sr 、 ^{131}I 同時イメージング”、第 17 回金属の関与する生体関連反応シンポジウム (SRM2007)、京都、平成 19 年 6 月
- 2) 本村信治、金山洋介、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一：“半導体コンプトンカメラによる複数分子同時イメージング装置の開発：マウスにおける複数核種同時 γ 線イメージング”、日本分子イメージング学会第 2 回総会・学術集会、福井、平成 19 年 6 月 28 日-29 日
- 3) 金山洋介、本村信治、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一：“半導体コンプトンカメラによる複数分子同時イメージング装置の開発：マウスにおける ^{65}Zn 、 ^{85}Sr 、 ^{131}I 同時 γ 線イメージング”、第 18 回 日本微量元素学会学術集会、福井、平成 19 年 7 月
- 4) Shinji Motomura, Yousuke Kanayama, Hiromitsu Haba, Yasuyosi Watanabe, and Shuichi Enomoto: "Multiple Nuclide Imaging in Live Mouse Using Semiconductor Compton Camera for Multiple Molecular Imaging", 2007 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Honolulu, USA, Oct. 29 - Nov. 3, 2007.
- 5) Shinji Motomura, Yousuke Kanayama, Hiromitsu Haba, Kaori Igarashi, Makoto Hiromura, Yasuyoshi Watanabe, and Shuichi Enomoto: "Semiconductor Compton Camera for Multiple Molecular Imaging" International Symposium on Metallomics 2007 (ISM2007)、名古屋、平成 19 年 11 月
- 6) Yousuke Kanayama, Shinji Motomura, Satoshi Nozaki, Hiromitsu Haba, Yasuyoshi Watanabe, Shuichi Enomoto: "Preliminary Study for Multiple Molecular Imaging: Simultaneous Imaging of ^{18}F -FDG, ^{54}Mn - MnCl_2 , and ^{65}Zn - ZnCl_2 in Normal and Tumor-Bearing Mouse", International Symposium on Metallomics 2007 (ISM2007)、名古屋、平成 19 年 11 月
- 7) 金山洋介、本村信治、福地知則、羽場宏光、渡辺恭良、榎本秀一：“複数分子同時イメージング法の開発と現状”、分子イメージング研究シンポジウム 2008、東京、平成 20 年 1 月 28 日
- 8) 廣村 信、東 文香、斉藤 大地、五十嵐 香織、榎本 秀一：“細胞外刺激による細胞内亜鉛の変化”、第 128 回日本薬学会年会、横浜、平成 20 年 3 月
- 9) 福地知則、本村信治、金山洋介、榎本秀一：ガンマ線コンプトンカメラ高度化のためのトラッ

キング法開発、本物理学会 2008 年年次大会、大阪、平成 20 年 3 月

- 10) 榎本秀一：“半導体コンプトンカメラによる複数分子同時イメージング”、BioJapan2007、横浜、平成 19 年 9 月 20 日、招待講演
- 11) 榎本 秀一・本村 信治・金山 洋介・石澤 篤・羽場 宏光：“複数核種同時 γ 線イメージング装置 GREI の開発と分子イメージング研究の展開”、第 68 回分析化学討論会、宇都宮、平成 19 年 5 月、シンポジウム招待講演
- 12) Shuichi Enomoto: “Development of Multi-Elemental molecular Imaging on Semiconductor Compton Telescope”, International Symposium on Metallomics 2007 (ISM2007), 名古屋、平成 19 年 11 月、招待講演
- 13) 榎本秀一：複数分子イメージングとメタロミクス研究の展開、第 128 回日本薬学会年会、横浜、平成 20 年 3 月、シンポジウム招待講演
- 14) 榎本秀一：先端計測と解析法分子イメージング研究シンポジウム 2008、東京、平成 20 年 1 月 28 日、招待講演
- 15) 榎本秀一：“半導体コンプトンカメラによる複数分子同時イメージング装置の開発と現状”、京都・神戸広域連携事業～臨床診断、創薬研究支援に貢献する分子イメージング及び関連技術の発展～発表交流会、平成 20 年 1 月 31 日、招待講演

(2) 特許等

- 1) ガンマ線検出装置、PCT/JP2007/65593 (H19.8.9) (PCT 国際出願)(理研)

(3) 受賞実績

- 1) 2007 年 11 月 第 44 回 Erwin von Bälz 賞(ベルツ賞) 一等賞 「分子イメージング研究による創薬・疾患診断の革新」

3. その他特記事項 (当該年度分についてのみ記載)

(1) 成果普及の努力 (プレス発表等)

- 1) 榎本秀一：科学欄，診断用カメラの開発，日本経済新聞，2007 年 8 月 6 日。
- 2) 榎本秀一：理研の最前線 44，複数分子同時イメージング装置の開発，日刊工業新聞，2007 年 10 月 9 日。

(2) その他

特になし

契約管理番号	07002145-0
--------	------------