

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011 年 7 月 14 日(14.07.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/083868 A1

- (51) 国際特許分類:
G01T 1/20 (2006.01) G01T 3/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/050231
- (22) 国際出願日: 2011 年 1 月 4 日(04.01.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-003182 2010 年 1 月 8 日(08.01.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人日本原子力研究開発機構 (JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3191184 茨城県那珂郡東海村松 4 番地 4 9 Ibaraki (JP). 株式会社秩父富士 (CHICHIBU FUJI CO., LTD) [JP/JP]; 〒3680193 埼玉県秩父郡小鹿野町小鹿野 7 5 5 番地 1 号 Saitama (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中村 龍也 (NAKAMURA, Tatsuya) [JP/JP]; 〒3191195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所内 Ibaraki (JP). 片桐 政

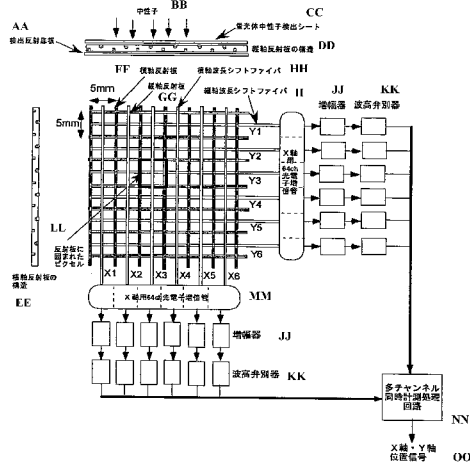
樹 (KATAGIRI, Masaki) [JP/JP]; 〒3191195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所内 Ibaraki (JP). 筒井 紀彰 (TSUTSUI, Noriaki) [JP/JP]; 〒3680193 埼玉県秩父郡小鹿野町小鹿野 7 5 5 番地 1 号株式会社秩父富士内 Saitama (JP).

- (74) 代理人: 高田 幸彦 (TAKADA, Yukihiko); 〒3100062 茨城県水戸市大町一丁目 2 番 6 号 Ibaraki (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: PIXEL TYPE TWO-DIMENSIONAL IMAGE DETECTOR

(54) 発明の名称: ピクセル型二次元イメージ検出器



(57) Abstract: Provided is a pixel type two-dimensional image detector which reduces leakage of fluorescence to an area excluding an incident pixel as much as possible. The two-dimensional image neutron detector has the following structure. In a grid-like structure in which reflection plates for reflecting fluorescence from a phosphor neutron detection sheet are arranged at constant intervals in a longitudinal axis direction, and reflection plates for reflecting fluorescence at a right angle with respect to the arrangement of the reflection plates are arranged at constant intervals in a lateral axis direction, to constitute the arrangement of the reflection plates, in the upper half of the reflection plates in the longitudinal axis direction, on the center position of the longitudinal-axis intervals, grooves for causing a longitudinal axis detection wavelength shift fiber for detecting the fluorescence to pass therethrough are formed, and in the lower half of the reflection plates in the lateral axis direction, on the center position of the lateral-axis intervals, grooves for causing a lateral axis detection wavelength shift fiber for detecting the fluorescence to pass therethrough are formed, thereby constituting a grid-like fluorescence detection body. Only on the front surface of the detection body, or on the front surface and the back surface, the phosphor neutron detection sheet is disposed.

(57) 要約:

[続葉有]

AA DETECTION REFLECTION BOTTOM PLATE
BB NEUTRON
CC PHOSPHOR NEUTRON DETECTION SHEET
DD STRUCTURE OF LONGITUDINAL-AXIS REFLECTION PLATE
EE STRUCTURE OF LATERAL-AXIS REFLECTION PLATE
FF LATERAL-AXIS REFLECTION PLATE
GG LONGITUDINAL-AXIS REFLECTION PLATE
HH LATERAL-AXIS WAVELENGTH SHIFT FIBER
II LONGITUDINAL-AXIS WAVELENGTH SHIFT FIBER
JJ AMPLIFIER
KK WAVE HEIGHT DISCRIMINATOR
LL PIXEL SURROUNDED BY REFLECTION PLATES
MM X-AXIS 64 ch PHOTOMULTIPLIER TUBE
NN MULTICHANNEL SIMULTANEOUS MEASUREMENT PROCESS CIRCUIT
OO X-AXIS/Y-AXIS POSITIONAL SIGNAL

WO 2011/083868 A1



MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

入射ピクセル以外への蛍光の漏洩を極力低減したピクセル型二次元イメージ検出器であって、蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置に蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝を、横軸方向反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝を設けて格子状蛍光検出体を構成し、この検出体の前面にのみ、あるいは前面と背面に蛍光体中性子検出シートを配置した構造を持つ二次元中性子イメージ検出器。

明 細 書

ピクセル型二次元イメージ検出器

5 技術分野

本発明は、例えば α 線などの重粒子線（陽子以上の質量を持つ粒子）、あるいは中性子を蛍光体を用いて検出し、重粒子線や中性子の入射強度に関する二次元画像を高精度に作成することができるピクセル型の二次元イメージ検出器に関する。ここで対象としている二次元イメージ検出器の技術は、原子力分野、医療分野のみならず宇宙分野でも有用な技術である。

背景技術

従来、重粒子線、特に α 線の二次元イメージ検出器としては、蛍光体粒子線検出シートと波長シフトファイバとを組み合わせた粒子線検出器が使用されている。また、原子炉／加速器を用いた中性子源などを利用した中性子散乱実験に使用される中性子二次元イメージ検出器としては、中性子シンチレータ、あるいは蛍光体と中性子コンバータを組み合わせた蛍光体中性子検出シートと波長シフトファイバを組み合わせた検出器が使用されている。

これらの二次元イメージ検出器では、クロスファイバ読み取り方式を用いて位置情報を得るようにしている。重粒子線の位置蛍光体シートあるいはシンチレータ板の上面と下面に波長シフトファイバ束を面状に直角方向に配置し、同時計数法により入射位置を決定する方法、クロスファイバ読み取り方式を改良しシンチレータの背面に波長シフトファイバ束を面状に直角方向に配置し同時計数法により入射位置を決定する方法、あるいは波長シフトファイバ束を面状に直角方向に配置しその上部と下部にシンチレータを配置した方法などが使用されてきた（例えば、以下の特許文献1及び2、非特許文献1を参照）。

特許文献1：特開2000-187077号公報

特許文献2：特開2002-071816号公報

非特許文献 1 : Nucl. Instr. And Meth., A430(1999) 311-320

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- 5 しかし、上述の方法では波長シフトファイバが面上に配置されているため、大面積の二次元イメージ検出器を構成するために手間がかかるという欠点と、ピクセルの境界がないため、蛍光体シートから放出される蛍光が散乱されて広がって、多くの波長シフトファイバに入射するため、入射位置のピクセル以外の周囲のピクセルに蛍光が広がるという欠点があった。
- 10 したがって、本発明の目的は、重粒子線や中性子によって発生させられた蛍光が、入射ピクセル以外へ漏洩することを低減させることによって、重粒子線や中性子の入射強度に関する二次元画像を高精度に作成することができるピクセル型の二次元イメージ検出器を提供することにある。
- 15 課題を解決するための手段
- 本発明においては、重粒子線を測定する検出体として、多結晶の粉体である蛍光体をバインダでガラス板等の透明な基板にバインダで塗布した蛍光体重粒子線検出シートを使用する。また、中性子を測定する検出体としては多結晶の粉体である蛍光体と中性子コンバータである ${}^6\text{Li}$ あるいは ${}^{10}\text{B}$ 元素のうち1つ以上含んだ材
- 20 料を混合しアルミニウム板等の金属基板にバインダで塗布、あるいは焼結して構成した蛍光体中性子検出シートを使用する。これらの検出シートは、入射ピクセル以外のピクセルに漏洩することをできるだけ低減できるように半透明になっている。さらにまた、これらの検出シートの厚さを0.7 mm以下に設定し、漏洩面積を小さくすることによって、一層検出精度を上げることができる。
- 25 本発明に係る二次元イメージ検出器の中で、最も簡潔な構造を持つピクセル型二次元イメージ検出器においては、これらの検出シートから放出される蛍光を検出し、重粒子線あるいは中性子の入射位置を決定する手段として、重粒子線が入射すると蛍光を放出する蛍光体重粒子検出シートからの蛍光を反射する反射板を等間隔に縦

軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝または穴をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板
5 の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝または穴をあけた構造とした格子状蛍光検出体を用いる。

 上述の最も簡単な構成においては、縦軸検出用波長シフトファイバ及び横軸検出用波長シフトファイバが各ピクセルに対して1本設けられているが、より検出感度
10 を上げたい場合には、必要に応じて各ピクセルに対してそれぞれ2本以上設けても良い。

発明の効果

 本発明によれば、上述のようにマトリクス状ピクセルを構成している格子状蛍光
15 検出体の前面あるいは前面と背面の両面に、上記半透明で薄い検出体シートを配置して重粒子線あるいは中性子のイメージ検出を行うようにしたので、入射ピクセル以外への蛍光の漏洩を顕著に低減させることができる。

図面の簡単な説明

20 図1は、重粒子線検出媒体を用いた本発明の一実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

 図2は、中性子検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

25 図3は、重粒子線検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

 図4は、中性子検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

 図5は、重粒子線検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イ

メージ検出器の構造を示す図である。

図 6 は、中性子検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

図 7 は、重粒子線検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

図 8 は、中性子検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

図 9 は、重粒子線検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

図 10 は、重粒子線検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

図 11 は、中性子検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

図 12 は、中性子検出媒体を用いた本発明の他の実施例に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を示す図である。

図 13 (A) 及び (B) は、ともに中性子二次元イメージ検出器の周囲ピクセルへの蛍光の影響を示す図である。

図 14 は、中性子二次元イメージ検出器の周囲ピクセルへの蛍光の影響を立体的に示す図である。

図 15 は、検出シートを格子状蛍光検出体の前面のみ、前面と後面の両面に配置した場合の熱中性子に対する検出効率を示す図である。

発明を実施するための形態

本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器は、

蛍光体粒子線検出シートからの蛍光を反射させるため、縦軸方向に等間隔に配列された縦軸方向反射板列と、該縦軸方向反射板列と同一の機能を有し、縦軸方向と直角の横軸方向に等間隔に配列された横軸方向反射板列と、縦軸方向における蛍光を検出するため、ピクセルの各縦軸間隔の均等分割位置に設けられた少なくとも 1

本の縦軸検出用波長シフトファイバと、横軸方向における蛍光を検出するため、ピクセルの各横軸間隔の均等分割位置に設けられた少なくとも1本の横軸検出用波長シフトファイバとから成る格子状蛍光検出体、及び

5 格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に、重粒子線または中性子が入射することにより蛍光を放出する前記蛍光体粒子線検出シートから構成され、縦軸方向反射板と横軸方向反射板で囲まれる領域によって各ピクセルを構成しているピクセル型二次元イメージ検出器であって、

さらに、前記縦軸方向反射板列の上半分または下半分の位置で、前記縦軸検出用波長シフトファイバをそれぞれの溝または穴に1本ずつ通すために、当該縦軸反射
10 板列に設けられた複数の当該溝または穴と、前記横軸方向反射板列の下半分または上半分の位置で、前記横軸検出用波長シフトファイバをそれぞれの溝または穴に1本ずつ通すために、当該横軸反射板列に設けられた複数の当該溝または穴を備え、

かつ前記蛍光体粒子線検出シートが半透明のシートであって、

15 縦軸検出用波長シフトファイバと横軸検出用波長シフトファイバとから波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ検出し、これらの検出信号を同時に計数測定することにより粒子線の入射位置を決定するようになっている。

以上の基本構成を実際に実施した例を図1から図15を参照しながら以下に説明する。

20

実施例

(実施例1)

実施例1として、重粒子線検出媒体を用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造を図1に示す。

25 本実施例では重粒子線検出媒体として、蛍光体として $ZnS:Ag$ を用い、この $ZnS:Ag$ 蛍光体をバインダを用いて 30 mg/cm^2 の塗布量で厚さ 0.1 mm のガラス板に塗布した、半透明の薄い蛍光体重粒子線検出シートを用いる。また、最下部に配置される蛍光反射底板の材料については鏡面のアルミニウム板を使用す

る。

次に格子状蛍光検出体について説明する。重粒子線が入射すると蛍光を放出する
蛍光体重粒子線検出シートからの蛍光を反射する反射板を図1に示すように等間隔
に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は5 mmとする。また、この反射
5 板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向
の間隔は5 mmとする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、
高さ2 mmで長さ325 mmとし、厚さを0.15 mmとした。

この格子状構造体を作る方法として、縦軸方向に配列する反射板に横軸方向に配
列する反射板の間隔の長さと同じ間隔で、反射板の厚さより100 μ m大きい幅の
10 溝を反射板の奥行き幅の半分の長さ作り、横軸方向に配列する反射板に縦軸方向に
配列する反射板の間隔の長さと同じ間隔で、反射板の厚さより100 μ m大きい幅
の溝を縦軸反射板の奥行き幅の半分の長さ作り、縦軸反射板と横軸反射板を作製し
た溝を使って交叉させることにより作製した。以下の実施例においても同様の方法
を用いて格子状構造体を作る。

15 このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向
に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.
5 mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための
溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ
漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1 mmとし、正方
20 形部の長さは1.1 mmとする。波長シフトファイバとしては、350 nmから4
40 nmまでの蛍光に感度があり、490 nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社
製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1 mm
とする。

同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置
25 に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構
造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないよ
うに半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1 mmとし、正方形部の長さは
1.1 mmとする。

ZnS : Ag の蛍光波長の中心は 450 nm であり、360 nm から 540 nm まで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は 300 ns であることから、波長シフトファイバとしては、350 nm から 440 nm までの蛍光に感度があり、490 nm の蛍光に波長変換するサンゴバン社製 BCF-92MC を用いる。

- 5 波長シフトファイバの形状は円形とし、直径 1 mm とする。

このように作製した格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみに蛍光体として ZnS : Ag を用い、この ZnS : Ag 蛍光体をバインダを用いて 30 mg/cm^2 の塗布量で厚さ 0.1 mm のガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを配置する。

- 10 波長シフトファイバ BCF-92MC から波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャネルの有感サイズが $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ の 64 チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製 H7546 を用いることができる。縦軸用及び横軸用の 2 本の光電子増倍管から出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、X 軸パルス信号及び Y 軸パルス信号となる。これらの X 軸パルス信号と Y 軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより、重粒子線の 2 次元入射位置を決定する。同時計数時間（コ
- 15 インシデンス時間）としては、ZnS : Ag の短寿命成分の蛍光寿命の約 3 倍の $1 \mu \text{s}$ とする。

- 縦軸用として反射板を 65 枚使用し、波長シフトファイバを 64 本使用すると共に、横軸用として反射板を 65 枚使用し波長シフトファイバを 64 本使用すると、縦軸 64 チャンネル及び横軸 64 チャンネル、重粒子線に対する有感部分が $320 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$ の大面積の重粒子線二次元イメージ検出器とすることができる。
- 20

(実施例 2)

- 25 実施例 2 として、中性子検出媒体を用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器について図 2 を用いて説明する。実施例 2 の二次元イメージ検出器の構成は、検出シートの構造を除いて基本的に実施例 1 と同じである。

本実施例では中性子検出媒体として、蛍光体として ZnS : Ag を用い、中性子

コンバータとして⁶LiFを用いバインダ混合し作製した英国AST社製中性子検出シート（ZnS：Agと⁶LiFの混合比が4：1）を用いる。この検出シートは半透明であり、その厚さは0.45mmである。

次に格子状蛍光検出体について説明する。中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を図1に示すように等間隔に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は5mmとする。また、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向の間隔は5mmとする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、高さ2mmで長さ325mmとし、厚さを0.15mmとした。

10 このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.5mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは1.1mmとする。波長シフトファイバとしては、350nmから440nmまでの蛍光に感度があり、490nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1mmとする。

20 同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは1.1mmとする。

25 ZnS：Agの蛍光波長の中心は450nmであり、360nmから540nmまで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は300nsであることから、波長シフトファイバとしては、350nmから440nmまでの蛍光に感度があり、490nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1mmとする。

このように作製した格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみに上記AST社製0.45mm厚の中性子検出シートを配置する。

2本の波長シフトファイバBCF-92MCは合体して光検出器に接続される。合体された波長シフトファイバから波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャンネルの有感サイズが2mm×2mmの64チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製H7546を用いることができる。縦軸用及び横軸用の2本の増倍管から出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、X軸パルス信号及びY軸パルス信号となる。これらのX軸パルス信号とY軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより、中性子の2次元入射位置を決定する。同時計数時間（コインシデンス時間）としては、ZnS:Agの短寿命成分の蛍光寿命の約3倍の1μsとする。

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、中性子に対する有感部分が320mm×320mmの面積の中性子二次元イメージ検出器とすることができる。

本中性子イメージ検出器の周囲ピクセルへの蛍光の影響を調べるために、パルス中性子を用いて、YAG結晶の中性子散乱実験を行った。3mm×3mm×3mmのサイズのYAG結晶を用い、中性子ビームと直角方向に本実施例の中性子イメージ検出器を50cmの距離設置して単結晶の散乱を測定した。その結果、図13の(A)及び(B)に示すように、1ピクセルのみ中性子散乱によるピークになることがわかった。確認のため、X軸方向及びY軸方向の断面分布を図14に示す。一点以外はバックグラウンド計数である。X軸及びY軸とも他のピクセルへの影響がほとんどないことが確認できた。

また、本実施例において、中性子検出媒体として、蛍光体としてZnS:Agを用い、中性子コンバータとして $^{10}\text{B}_2\text{O}_3$ を用い焼結して作製した厚さ0.25mmのZnS/ $^{10}\text{B}_2\text{O}_3$ 中性子検出シート（ZnS:Agと $\text{H}_3\text{^{10}BO}_3$ の混合比が3:2）を2枚用い、格子状蛍光検出体の前面と後面の両面に配置し、熱中性子に対する検出効率を測定した。同時計測時間を0.1μsから3μsまで変化さ

せて測定した検出効率の結果を図15に示す。その結果、同時計測時間 $1\mu\text{s}$ の場合前面のみの場合30%の検出効率が前面と後面の両面に配置した場合48%に増加し、1.6倍向上することが確認された。

5 (実施例3)

実施例3として、重粒子線検出シートを用いた他のピクセル型二次元イメージ検出器について、図3を参照して述べる。

実施例1及び2よりさらにピクセルサイズを大きくするため、縦軸及び横軸の反射板の間隔を大きくした場合、X軸1本、Y軸1本の波長シフトファイバでは、蛍光体重粒子線検出シートから放出される蛍光を十分収集することが困難となる。このため、X軸1本、Y軸1本の波長シフトファイバの数を増加する必要が生ずる。

また、反射板の波長シフトファイバの太さを円形状ファイバの場合は直径1mm以上、正形状ファイバの場合には一辺が1mm以上とした場合、上部に配置された波長シフトファイバのみに蛍光が吸収されてしまい下部に配置された波長シフトファイバによる蛍光の収集が減少し同時計数測定を行った際の計数損失が大きくなる。また、波長シフトファイバは重粒子線計測のバックグラウンドとなるガンマ線に有感であることから波長シフトファイバの太さを円形状ファイバの場合は直径1mm以上、正形状ファイバの場合には一辺が1mm以上とした場合、その太さに応じて増加する。以上の要因のため、縦軸及び横軸の反射板の間隔に比較して、波長シフトファイバが円形の時にはその直径が小さい場合、波長シフトファイバが正形状の時にはその一辺の長さが小さい場合、蛍光体重粒子線検出シートから放出される蛍光を十分収集することが困難となる。このため、X軸1本、Y軸1本の波長シフトファイバの数を増加する必要が生ずる。

本実施例では、ピクセルサイズを大きくするため、反射板の縦軸及び横軸の間隔が9mmの場合について述べる。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、高さ2mmで長さ585mmとし、厚さを0.15mmとした。

本実施例では重粒子線検出媒体として、蛍光体として ZnS:Ag を用い、この

ZnS : Ag 蛍光体をバインダを用いて 30 mg/cm^2 の塗布量で厚さ 0.1 mm のガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを用いる。また、最下部に配置される蛍光反射底板の材料については鏡面のアルミニウム板を使用する。

次に格子状蛍光検出体について説明する。重粒子線が入射すると蛍光を放出する
5 蛍光体重粒子線検出シートからの蛍光を反射する反射板を図3に示すように等間隔に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は 9 mm とする。また、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向の間隔は 9 mm とする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、高さ 2 mm で長さ 585 mm とし、厚さを 0.15 mm とした。

10 このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では 3 mm の位置と 6 mm の位置に2本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図3に示すように、隣のピクセルに蛍光が
15 とし、正方形部の長さは 0.9 mm とする。波長シフトファイバとしては、 350 nm から 440 nm までの蛍光に感度があり、 490 nm の蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径 0.8 mm とする。

同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置
20 に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は 0.9 mm とし、正方形部の長さは 0.9 mm とする。

ZnS : Ag の蛍光波長の中心は 450 nm であり、 360 nm から 540 nm
25 まで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は 300 ns であることから、波長シフトファイバとしては、 350 nm から 440 nm までの蛍光に感度があり、 490 nm の蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径 1 mm とする。

このように作製した格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみに蛍光体として $ZnS:Ag$ を用い、この $ZnS:Ag$ 蛍光体をバインダを用いて 30 mg/cm^2 の塗布量で厚さ 0.1 mm のガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを配置する。波長シフトファイバ BCF-92MC から波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャンネルの有感サイズが $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ の 64 チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製 H7546 を用いることができる。縦軸用及び横軸用の 2 本の光電子増倍管から出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、X 軸パルス信号及び Y 軸パルス信号となる。これらの X 軸パルス信号と Y 軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより、重粒子線の 2 次元入射位置を決定する。同時計数時間（コインシデンス時間）としては、 $ZnS:Ag$ の短寿命成分の蛍光寿命の約 3 倍の $1\text{ }\mu\text{ s}$ とする。

縦軸用として反射板を 65 枚使用し、波長シフトファイバを 64 本使用すると共に、横軸用として反射板を 65 枚使用し波長シフトファイバを 64 本使用すると、縦軸 64 チャンネル及び横軸 64 チャンネル、重粒子線に対する有感部分が $576\text{ mm} \times 576\text{ mm}$ の大面積の重粒子線二次元イメージ検出器とすることができる。

(実施例 4)

実施例 4 として、本発明による中性子検出媒体を用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造について、図 4 を参照して述べる。

実施例 1 及び 2 よりさらにピクセルサイズを大きくするため、縦軸及び横軸の反射板の間隔を大きくした場合、X 軸 1 本、Y 軸 1 本の波長シフトファイバでは、蛍光体中性子検出シートから放出される蛍光を十分収集することが困難となる。このため、X 軸 1 本、Y 軸 1 本の波長シフトファイバの数を増加する必要が生ずる。

また、反射板の波長シフトファイバの太さを円形状ファイバの場合は直径 1 mm 以上、正形状ファイバの場合には一辺が 1 mm 以上とした場合、上部に配置された波長シフトファイバのみに蛍光が吸収されてしまい下部に配置された波長シフトファイバによる蛍光の収集が減少し同時計数測定を行った際の計数損失が大きくな

る。また、波長シフトファイバは中性子計測のバックグラウンドとなるガンマ線に有感であることから波長シフトファイバの太さを円形状ファイバの場合は直径 1 mm 以上、正形状ファイバの場合には一辺が 1 mm 以上とした場合、その太さに応じて増加する。以上の要因のため、縦軸及び横軸の反射板の間隔に比較して、波長シフトファイバが円形の時にはその直径が小さい場合、波長シフトファイバが正形状の時にはその一辺の長さが小さい場合、蛍光体中性子検出シートから放出される蛍光を十分収集することが困難となる。このため、X 軸 1 本、Y 軸 1 本の波長シフトファイバの数を増加する必要が生ずる。

本実施例では、ピクセルサイズを大きくするため、反射板の縦軸及び横軸の間隔が 9 mm の場合について述べる。

本実施例では中性子検出媒体として、蛍光体として $ZnS : Ag$ を用い、中性子コンバータとして 6LiF を用いバインダ混合し作製した英国 AST 社製中性子検出シート ($ZnS : Ag$ と 6LiF の混合比が 2 : 1) を用いる。厚さは 0.45 mm である。本実施例ではこの中性子検出シートを 2 枚使用する。

次に格子状蛍光検出体について説明する。中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を図 3 に示すように等間隔に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は 9 mm とする。また、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向の間隔は 9 mm とする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、高さ 2 mm で長さ 585 mm とし、厚さを 0.15 mm とした。

このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では 3 mm の位置と 6 mm の位置に 2 本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図 3 に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は 0.9 mm とし、正方形部の長さは 0.9 mm とする。波長シフトファイバとしては、350 nm から 440 nm までの蛍光に感度があり、490 nm の蛍光に波長変換するサンゴバン社製 $BCF-92MC$ を用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、

直径0.8 mmとする。

同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は0.9 mmとし、正方形部の長さは0.9 mmとする。

ZnS:Agの蛍光波長の中心は450 nmであり、360 nmから540 nmまで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は300 nsであることから、波長シフトファイバとしては、350 nmから440 nmまでの蛍光に感度があり、490 nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1 mmとする。

このように作製した格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面及び背面の両面に上記AST社製0.45 mm厚の中性子検出シート2枚を配置する。

波長シフトファイバBCF-92MCから波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャンネルの有感サイズが2 mm×2 mmの64チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製H7546を用いることができる。縦軸用及び横軸用の2本の光電子増倍管から出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、X軸パルス信号及びY軸パルス信号となる。これらのX軸パルス信号とY軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより、中性子の2次元入射位置を決定する。同時計数時間（コインシデンス時間）としては、ZnS:Agの短寿命成分の蛍光寿命の約3倍の1 μ sとする。

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、中性子に対する有感部分が576 mm×576 mmの大面积の中性子二次元イメージ検出器とすることができる。

(実施例5)

実施例 5 として、ZnS : Ag 蛍光体を重粒子線検出媒体として用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造について、図 5 を参照して述べる。

蛍光体として ZnS を使用した場合、短寿命成分の蛍光寿命は 300 ns と非常に短い、発光に伴って遅い寿命成分の蛍光が発生する。遅い成分の蛍光寿命は約
5 70 μ s と長くアフターグローと定義されている。

この実施例では、この ZnS : Ag のアフターグローの影響を低減する方法について述べる。上記実施例 1 においては、縦軸 1 本及び横軸 1 本の波長シフトファイバからの 2 つの蛍光信号を同時計数処理して重粒子線の位置を決定している。重粒子線が検出器に高計数率で入射するとアフターグローの蛍光が完全に消滅しない状態となり、重粒子線が入射した位置以外にアフターグローが強い縦軸と横軸の波長シフトファイバの蛍光信号がランダムに同時計数計測が成立しバックグラウンドの位置として決定される。特に、波長シフトファイバを蛍光の検出に用いた場合、蛍光の検出効率が約 3 % と非常に小さいため、光検出器による蛍光の検出が一つの光毎に計数（フォトンカウンティング）して行う方法が使用されるために、ランダム
10 に計数されるバックグラウンド計数が増加する。

本実施例では重粒子線検出媒体として、蛍光体として ZnS : Ag を用い、この ZnS : Ag 蛍光体をバインダを用いて 30 mg / cm² の塗布量で厚さ 0.1 mm のガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを用いる。また、最下部に配置される蛍光反射底板の材料については鏡面のアルミニウム板を使用する。

次に格子状蛍光検出体について説明する。重粒子線が入射すると蛍光を放出する蛍光体重粒子線検出シートからの蛍光を反射する反射板を図 3 に示すように等間隔に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は 6 mm とする。また、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向の間隔は 6 mm とする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、
20 高さ 2 mm で長さ 390 mm とし、厚さを 0.15 mm とした。

このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では 2 mm の位置と 4 mm の位置に 2 本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを

通すための溝をあけた構造とする。溝は図3に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは1.1mmとする。波長シフトファイバとしては、350nmから440nmまでの蛍光に感度があり、490nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1mmとする。

同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは1.1mmとする。

ZnS:Agの蛍光波長の中心は450nmであり、360nmから540nmまで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は300nsであることから、波長シフトファイバとしては、350nmから440nmまでの蛍光に感度があり、490nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1mmとする。

このように作製した格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみに蛍光体としてZnS:Agを用い、このZnS:Ag蛍光体をバインダを用いて30mg/cm²の塗布量で厚さ0.1mmのガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを配置する。

波長シフトファイバBCF-92MCから波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャンネルの有感サイズが2mm×2mmの64チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製H7546を用いることができる。縦軸用の2個の光電子増倍管から出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2つのY軸決定用パルス信号となる。この2つのY軸決定用パルス信号（1番目のピクセルの場合Y1-1及びY1-2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合Y軸の位置が決定し、Y軸パルス信号が出力される。同様に、横軸用の2個の光電子増倍管から出

力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2つのX軸決定用パルス信号となる。この2つのX軸決定用パルス信号（1番目のピクセルの場合X 1 - 1 及びX 1 - 2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合X軸の位置が決定し、X軸パルス信号が出力される。このY軸パルス信号及びX軸パルス信号について同時計数が成立した場合、重粒子線の2次元入射位置を決定する。同時計数時間（コインシデンス時間）としては、Z n S : A g の短寿命成分の蛍光寿命の約3倍の1 μ s とする。

以上のように同時計測測定を3回行うことによりZ n S : A g のアフターグローに起因するランダムに発生するバックグラウンドの発生する確率を低減することを特長とする。

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、重粒子線に対する有感部分が384 mm $\times$ 384 mmの大面积の重粒子線二次元イメージ検出器とすることができる。

（実施例6）

実施例6として、本発明によるZ n S : A g 蛍光体を中性子検出媒体として用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造について、図6を参照して述べる。

蛍光体としてZ n Sを使用した場合、短寿命成分の蛍光寿命は300 ns と非常に短い、発光に伴って遅い寿命成分の蛍光が発生する。遅い成分の蛍光寿命は約70 μ s と長くアフターグローと定義されている。

実施例では、このZ n S : A g のアフターグローの影響を低減する方法について述べる。上記実施例1においては、縦軸1本及び横軸1本の波長シフトファイバからの2つの蛍光信号を同時計数処理して中性子の位置を決定している。中性子が検出器に高計数率で入射するとアフターグローの蛍光が完全に消滅しない状態となり、中性子が入射した位置以外にアフターグローが強い縦軸と横軸の波長シフトファイバの蛍光信号がランダムに同時計数計測が成立しバックグラウンドの位置として決

定される。特に、波長シフトファイバを蛍光の検出に用いた場合、蛍光の検出効率が約3%と非常に小さいため、光検出器による蛍光の検出が一つの光毎に計数（フォトンカウンティング）して行う方法が使用されるために、ランダムに計数されるバックグラウンド計数が増加する。

5 本実施例では中性子検出媒体として、蛍光体としてZnS:Agを用い、中性子コンバータとして⁶LiFを用いバインダ混合し作製した英国AST社製中性子検出シート（ZnS:Agと⁶LiFの混合比が2:1）を用いる。この検出シートは半透明であり、その厚さは0.45mmである。本実施例ではこの中性子検出シートを2枚を格子状蛍光体の前面と後面に配置して使用する。

10 次に格子状蛍光検出体について説明する。中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を図3に示すように等間隔に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は6mmとする。また、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向の間隔は6mmとする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、高
15 さ2mmで長さ390mmとし、厚さを0.15mmとした。

このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2mmの位置と4mmの位置に2本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図3に示すように、隣のピクセルに蛍光が
20 できるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは1.1mmとする。波長シフトファイバとしては、350nmから440nmまでの蛍光に感度があり、490nmの蛍光に波長変換するサングバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1mmとする。

25 同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは

1. 1 mmとする。

ZnS : Ag の蛍光波長の中心は 450 nm であり、360 nm から 540 nm まで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は 300 ns であることから、波長シフトファイバとしては、350 nm から 440 nm までの蛍光に感度があり、490 nm の蛍光に波長変換するサンゴバン社製 BCF-92MC を用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径 1 mm とする。

波長シフトファイバ BCF-92MC から波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャンネルの有感サイズが 2 mm × 2 mm の 64 チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製 H7546 を用いることができる。縦軸用の 2 個の光電子増倍管から出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2 つの Y 軸決定用パルス信号となる。この 2 つの Y 軸決定用パルス信号（1 番目のピクセルの場合 Y1-1 及び Y1-2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合 Y 軸の位置が決定し、Y 軸パルス信号が出力される。同様に、横軸用の 2 個の光電子増倍管から出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2 つの X 軸決定用パルス信号となる。

この 2 つの X 軸決定用パルス信号（1 番目のピクセルの場合 X1-1 及び X1-2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合 X 軸の位置が決定し、X 軸パルス信号が出力される。この Y 軸パルス信号及び X 軸パルス信号について同時計数が成立した場合、中性子の 2 次元入射位置を決定する。同時計数時間（コインシデンス時間）としては、ZnS : Ag の短寿命成分の蛍光寿命の約 3 倍の 1 μ s とする。

以上のように同時計測測定を 3 回行うことにより ZnS : Ag のアフターグローに起因するランダムに発生するバックグラウンドの発生する確率を低減することができる。

縦軸用として反射板を 65 枚使用し、波長シフトファイバを 64 本使用すると共に、横軸用として反射板を 65 枚使用し波長シフトファイバを 64 本使用すると、縦軸 64 チャンネル及び横軸 64 チャンネル、中性子に対する有感部分が 384 mm ×

384 mmの面積の中性子二次元イメージ検出器とすることができる。

(実施例 7)

5 実施例 7 として、本発明による ZnS : Ag 蛍光体を重粒子線検出媒体として用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造について、図 7 を参照して述べる。

蛍光体として ZnS を使用した場合、短寿命成分の蛍光寿命は 300 ns と非常に短い、発光に伴って遅い寿命成分の蛍光が発生する。遅い成分の蛍光寿命は約 70 μ s と長くアフターグローと定義されている。

10 本実施例では、この ZnS : Ag のアフターグローの影響を低減する方法について述べる。上記実施例 1 においては、縦軸 1 本及び横軸 1 本の波長シフトファイバの片方の端面から放出する蛍光からの 2 つの蛍光信号を同時計数処理して重粒子線の位置を決定している。重粒子線が検出器に高計数率で入射するとアフターグローの蛍光が完全に消滅しない状態となり、重粒子線が入射した位置以外にアフター
15 グローが強い縦軸と横軸の波長シフトファイバの蛍光信号がランダムに同時計数計測が成立しバックグラウンドの位置として決定される。特に、波長シフトファイバを蛍光の検出に用いた場合、蛍光の検出効率が約 3 % と非常に小さいため、光検出器による蛍光の検出が一つの光毎に計数（フォトンカウンティング）して行う方法が使用されるために、ランダムに計数されるバックグラウンド計数が増加する。

20 本実施例では重粒子線検出媒体として、蛍光体として ZnS : Ag を用い、この ZnS : Ag 蛍光体をバインダを用いて 30 mg / cm² の塗布量で厚さ 0.1 mm のガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを用いる。このため、アフターグローの影響を受けることになる。また、最下部に配置される蛍光反射底板の材料については鏡面のアルミニウム板を使用する。

25 このため、本実施例においては、実施例 1 における縦軸 1 本及び横軸 1 本の波長シフトファイバの片方の端面のみから放出される蛍光だけではなく、もう 1 方の端面からの蛍光も利用するようにしている。

格子状蛍光検出体について説明する。重粒子線が入射すると蛍光を放出する蛍光

体重粒子線検出シートからの蛍光を反射する反射板を図3に示すように等間隔に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は5 mmとする。また、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向の間隔は5 mmとする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、高さ2 mmで長さ32.5 mmとし、厚さを0.15 mmとした。

このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.5 mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1 mmとし、正方形部の長さは1.1 mmとする。波長シフトファイバとしては、350 nmから440 nmまでの蛍光に感度があり、490 nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1 mmとする。

同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1 mmとし、正方形部の長さは1.1 mmとする。

ZnS:Agの蛍光波長の中心は450 nmであり、360 nmから540 nmまで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は300 nsであることから、波長シフトファイバとしては、350 nmから440 nmまでの蛍光に感度があり、490 nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1 mmとする。

このように作製した格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみに蛍光体としてZnS:Agを用い、このZnS:Ag蛍光体をバインダを用いて30 mg/cm²の塗布量で厚さ0.1 mmのガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを配置する。

波長シフトファイバBCF-92MCから波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャンネルの有感サイズが $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ の64チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製H7546を用いることができる。縦軸用波長シフトファイバの両方の端面はそれぞれ2個の光電子増倍管に接続され、蛍光電気信号として出力される。出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2つのY軸決定用パルス信号となる。この2つのY軸決定用パルス信号（1番目のピクセルの場合Y1-1及びY1-2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合Y軸の位置が決定し、Y軸パルス信号が出力される。同様に、横軸用波長シフトファイバの両方の端面はそれぞれ2個の光電子増倍管に接続され、蛍光電気信号として出力される。出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2つのX軸決定用パルス信号となる。この2つのX軸決定用パルス信号（1番目のピクセルの場合X1-1及びX1-2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合X軸の位置が決定し、X軸パルス信号が出力される。

このY軸パルス信号及びX軸パルス信号について同時計数が成立した場合、重粒子線の2次元入射位置を決定する。同時計数時間（コインシデンス時間）としては、ZnS:Agの短寿命成分の蛍光寿命の約3倍の $1\text{ }\mu\text{ s}$ とする。

以上のように同時計測測定を3回行うことによりZnS:Agのアフターグローに起因するランダムに発生するバックグラウンドの発生する確率を低減することを特長とする。

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、重粒子線に対する有感部分が $320\text{ mm} \times 320\text{ mm}$ の大面积の重粒子線二次元イメージ検出器とすることができる。

（実施例8）

実施例8として、本発明によるZnS:Ag蛍光体を中性子検出媒体として用い

た本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造について、図8を参照して述べる。

蛍光体としてZnSを使用した場合、図に示すように、短寿命成分の蛍光寿命は300nsと非常に短い、発光に伴って遅い寿命成分の蛍光が発生する。遅い成分の蛍光寿命は約70μsと長くアフターグローと定義されている。

本実施例では、このZnS:Agのアフターグローの影響を低減する方法について述べる。上記実施例1においては、縦軸1本及び横軸1本の波長シフトファイバの片方の端面から放出する蛍光からの2つの蛍光信号を同時計数処理して重粒子線の位置を決定している。中性子が検出器に高計数率で入射するとアフターグローの蛍光が完全に消滅しない状態となり、中性子が入射した位置以外にアフターグローが強い縦軸と横軸の波長シフトファイバの蛍光信号がランダムに同時計数計測が成立しバックグラウンドの位置として決定される。特に、波長シフトファイバを蛍光の検出に用いた場合、蛍光の検出効率が約3%と非常に小さいため、光検出器による蛍光の検出が一つの光毎に計数（フォトンカウンティング）して行う方法が使用されるために、ランダムに計数されるバックグラウンド計数が増加する。

本実施例の中性子検出媒体では、蛍光体としてZnS:Agを用い、中性子コンバータとして⁶LiFを用いバイнда混合し作製した英国AST社製中性子検出シート（ZnS:Agと⁶LiFの混合比が2:1）を用いる。この検出シートは半透明であり、その厚さは0.45mmである。本実施例ではこの中性子検出シートを2枚を格子状蛍光体の前面と後面に配置して使用する。

このため、本実施例においては、実施例1における縦軸1本及び横軸1本の波長シフトファイバの片方の端面のみから放出する蛍光だけでは、もう1方の端面からの蛍光を利用することが特長である。

格子状蛍光検出体について説明する。中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を図3に示すように等間隔に縦軸方向に配列する。反射板の縦軸方向の間隔は5mmとする。また、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列する。反射板の横軸方向の間隔は5mmとする。反射板の材料は鏡面のアルミニウム板を使用することとし、高さ2

mmで長さ325mmとし、厚さを0.15mmとした。

このように縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.

5mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための

5 溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは1.1mmとする。波長シフトファイバとしては、350nmから440nmまでの蛍光に感度があり、490nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1mm
10 とする。

同様に、横軸方向に配列した反射板の下半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とする。溝は図1に示すように、隣のピクセルに蛍光ができるだけ漏洩しないように半円形正形状とする。半円形部の直径は1.1mmとし、正方形部の長さは

15 1.1mmとする。

ZnS:Agの蛍光波長の中心は450nmであり、360nmから540nmまで幅広い波長の蛍光を発生し、短寿命成分の蛍光寿命は300nsであることから、波長シフトファイバとしては、350nmから440nmまでの蛍光に感度があり、490nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。

20 波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1mmとする。

波長シフトファイバBCF-92MCから波長シフトされてきた蛍光を検出する光検出器としては、一つのチャンネルの有感サイズが2mm×2mmの64チャンネル光電子増倍管である浜松ホトニクス製H7546を用いることができる。縦軸用波長シフトファイバの両方の端面はそれぞれ2個の光電子増倍管に接続され、蛍光
25 電気信号として出力される。出力された各光電気信号は増幅器で増幅した後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2つのY軸決定用パルス信号となる。この2つのY軸決定用パルス信号（1番目のピクセルの場合Y1-1及びY1-2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合Y軸の位置が

決定し、Y軸パルス信号が出力される。同様に、横軸用波長シフトファイバの両方の端面はそれぞれ2個の光電子増倍管に接続され、蛍光電気信号として出力される。

出力された各光電気信号は増幅器で増幅された後、それぞれ波高弁別器によりデジタルパルス信号に変換され、2つのX軸決定用パルス信号となる。この2つのX
5 軸決定用パルス信号（1番目のピクセルの場合X1-1及びX1-2）について同時計数測定を行い、同時計数が成立した場合X軸の位置が決定し、X軸パルス信号が出力される。

このY軸パルス信号及びX軸パルス信号について同時計数が成立した場合、中性子の2次元入射位置を決定する。同時計数時間（コインシデンス時間）としては、
10 ZnS:Agの短寿命成分の蛍光寿命の約3倍の1 μ sとする。

以上のように同時計測測定を3回行うことによりZnS:Agのアフターグローに起因するランダムに発生するバックグラウンドの発生する確率を低減することを特長とする。

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、
15 縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、中性子に対する有感部分が320mm×320mmの大面积の重粒子線二次元イメージ検出器とすることができる。

（実施例9）

20 実施例9として、図9を参照して重粒子線検出媒体を用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造について説明する。

本実施例では重粒子線検出媒体として、蛍光体としてZnS:Agを用い、このZnS:Ag蛍光体をバインダを用いて30mg/cm²の塗布量で厚さ0.1mmのガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを用いる。また、最下部に配置
25 される蛍光反射底板の材料については鏡面のアルミニウム板を使用する。

この蛍光体重粒子線検出シートの背後に配置された次に説明する格子状蛍光検出体の縦軸用波長シフトファイバがこの検出シート密着した構成とした場合この密着部分に近い検出シートから放出された蛍光は縦軸用波長シフトファイバに吸収され

てしまい、下に配置される横軸用波長シフトファイバに検出される割合が非常に低くなる。この欠点を改善するためには、蛍光体重粒子線検出シートと縦軸用波長シフトファイバとの間に距離をおく必要がある。これを実施例1で実現しようとする
5 と、空けた距離だけの分反射板に隙間ができるため、隣のピクセルへの蛍光の漏洩が生じてしまう。

波長シフトファイバとしては、350 nmから440 nmまでの蛍光に感度があり、490 nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1 mmとする。

これを改善するため、本実施例では、縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状
10 構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.5 mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図9に示すように、隣のピクセルに蛍光が漏洩しないように直径は1.1 mmの円形とし、その中心位置は反射板上部より1 mmとする。このような構成にすることにより蛍光体重粒子線検出シートと縦軸用波長シフトファイバの表面との間には0.5 mmの間隔が空き、上記し
15 た欠点を改善することができる。

同様に、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.5 mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図9に示すように、隣のピクセルに蛍光
20 が漏洩しないように直径は1.1 mmの円形とし、その中心位置は反射板上部より1 mmとする。このような構成にすることにより最下部に置かれた蛍光反射底板と横軸用波長シフトファイバの表面との間には0.5 mmの間隔が空き、蛍光反射底板との密着による蛍光集光率の低下を改善することができる。

このように作製した格子状蛍光検出体の使用方法等以降については実施例1と同じなので省略する。
25

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、重粒子線に対する有感部分が320 mm

× 3 2 0 mmの大面积の重粒子線二次元イメージ検出器とすることができる。

(実施例 1 0)

実施例 1 0 として、図 1 0 を参照して、重粒子線検出媒体を用いた本発明に係る

5 ピクセル型二次元イメージ検出器の構造について説明する。

本実施例では重粒子線検出媒体として、蛍光体として $ZnS : Ag$ を用い、この $ZnS : Ag$ 蛍光体をバインダを用いて 30 mg/cm^2 の塗布量で厚さ 0.1 mm のガラス板に塗布した蛍光体重粒子線検出シートを用いる。また、最下部に配置される蛍光反射底板の材料については鏡面のアルミニウム板を使用する。

10 この蛍光体重粒子線検出シートの背後に配置された次に説明する格子状蛍光検出体の縦軸用波長シフトファイバがこの検出シート密着した構成とした場合この密着部分に近い検出シートから放出された蛍光は縦軸用波長シフトファイバに吸収されてしまい、下に配置される横軸用波長シフトファイバに検出される割合が非常に低くなる。この欠点を改善するためには、蛍光体重粒子線検出シートと縦軸用波長シフトファイバとの間に距離をおく必要がある。これを実施例 1 で実現しようとする
15 と、空けた距離だけの分反射板に隙間ができるため、隣のピクセルへの蛍光の漏洩が生じてしまう。

波長シフトファイバとしては、 350 nm から 440 nm までの蛍光に感度があり、 490 nm の蛍光に波長変換するサンゴバン社製 $BCF-92MC$ を用いる。

20 波長シフトファイバの形状は正方形とし、一辺の長さを 1 mm とする。

これを改善するため、本実施例では、縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では 2.5 mm の位置に 1 本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図 1 0 に示すように、隣のピクセルに蛍光が漏洩しないように一辺が 1.1 mm の正方形とし、その中心位置は反
25 射板上部より 1 mm とする。このような構成にすることにより蛍光体重粒子線検出シートと縦軸用波長シフトファイバの表面との間には約 0.5 mm の間隔が空き、上記した欠点を改善することができる。

同様に、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.5 mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図10に示すように、隣のピクセルに蛍光が漏洩しないように一辺が1.1 mmの正方形とし、その中心位置は反射板上部より1 mmとする。このような構成にすることにより最下部に置かれた蛍光反射底板と横軸用波長シフトファイバの表面との間には約0.5 mmの間隔が空き、蛍光反射底板との密着による蛍光集光率の低下を改善することができる。

このように作製した格子状蛍光検出体の使用方法等以降については実施例1と同じなので省略する。

10 縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、重粒子線に対する有感部分が320 mm × 320 mmの大面积の重粒子線二次元イメージ検出器とすることができる。

15 (実施例11)

実施例11として、中性子検出媒体を用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造実施例2を参照して、図11をもとに本発明による2次元中性子イメージ検出器を説明する。

本実施例では中性子検出媒体として、蛍光体としてZnS:Agを用い、中性子コンバータとして⁶LiFを用いバインダ混合し作製した英国AST社製中性子検出シート(ZnS:Agと⁶LiFの混合比が2:1)を用いる。厚さは0.45 mmである。本実施例ではこの中性子検出シートを2枚を格子状蛍光体の前面と後面に配置して使用する。

この蛍光体中性子検出シートの背後に配置された次に説明する格子状蛍光検出体の縦軸用波長シフトファイバがこの検出シート密着した構成とした場合この密着部分に近い検出シートから放出された蛍光は縦軸用波長シフトファイバに吸収されてしまい、下に配置される横軸用波長シフトファイバに検出される割合が非常に低くなる。この欠点を改善するためには、蛍光体中性子検出シートと縦軸用波長シフト

ファイバとの間に距離をおく必要がある。これを実施例1で実現しようとする、空けた距離だけの分反射板に隙間ができるため、隣のピクセルへの蛍光の漏洩が生じてしまう。

波長シフトファイバとしては、350 nmから440 nmまでの蛍光に感度があり、490 nmの蛍光に波長変換するサンゴバン社製BCF-92MCを用いる。波長シフトファイバの形状は円形とし、直径1 mmとする。

これを改善するため、本実施例では、縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.5 mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図11に示すように、隣のピクセルに蛍光が漏洩しないように直径は1.1 mmの円形とし、その中心位置は反射板上部より1 mmとする。このような構成にすることにより蛍光体重粒子線検出シートと縦軸用波長シフトファイバの表面との間には0.5 mmの間隔が空き、上記した欠点を改善することができる。

同様に、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では2.5 mmの位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図11に示すように、隣のピクセルに蛍光が漏洩しないように直径は1.1 mmの円形とし、その中心位置は反射板上部より1 mmとする。このような構成にすることにより最下部に置かれた中性子検出シートと横軸用波長シフトファイバの表面との間には0.5 mmの間隔が空き中性子検出シートとの密着による蛍光集光率の低下を改善することができる。

このように作製した格子状蛍光検出体の使用方法等以降については実施例2と同じなので省略する。

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、中性子に対する有感部分が320 mm×320 mmの大面积の中性子二次元イメージ検出器とすることができる。

(実施例 1 2)

実施例 1 2 として、図 1 2 を参照して中性子検出媒体を用いた本発明に係るピクセル型二次元イメージ検出器の構造について説明する。

本実施例では中性子検出媒体として、蛍光体として $ZnS : Ag$ を用い、中性子
5 コンバータとして 6LiF を用いバインダ混合し作製した英国 AST 社製中性子検出シート ($ZnS : Ag$ と 6LiF の混合比が 2 : 1) を用いる。厚さは 0.45 mm である。本実施例ではこの中性子検出シートを 2 枚を格子状蛍光体の前面と後面に配置して使用する。

この蛍光体中性子検出シートの背後に配置された次に説明する格子状蛍光検出体
10 の縦軸用波長シフトファイバがこの検出シート密着した構成とした場合この密着部分に近い検出シートから放出された蛍光は縦軸用波長シフトファイバに吸収されてしまい、下に配置される横軸用波長シフトファイバに検出される割合が非常に低くなる。この欠点を改善するためには、蛍光体重粒子線検出シートと縦軸用波長シフトファイバとの間に距離をおく必要がある。これを実施例 1 で実現しようとする、
15 空けた距離だけの分反射板に隙間ができるため、隣のピクセルへの蛍光の漏洩が生じてしまう。

波長シフトファイバとしては、350 nm から 440 nm までの蛍光に感度があり、490 nm の蛍光に波長変換するサンゴバン社製 $BCF-92MC$ を用いる。波長シフトファイバの形状は正方形とし、一辺の長さを 1 mm とする。

これを改善するため、本実施例では、縦軸及び横軸の反射板列を構成した格子状構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置、本実施例では 2.5 mm の位置に 1 本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図 1 2 に示すように、隣のピクセルに蛍光が漏洩しないように一辺が 1.1 mm の正方形とし、その中心位置は反
20 射板上部より 1 mm とする。このような構成にすることにより蛍光体中性子検出シートと縦軸用波長シフトファイバの表面との間には約 0.5 mm の間隔が空き、上記した欠点を改善することができる。

同様に、横軸方向に配列した反射板の上半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置、

本実施例では2.5 mmの位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための空けた構造とする。穴は図12に示すように、隣のピクセルに蛍光が漏洩しないように一辺が1.1 mmの正方形とし、その中心位置は反射板上部より1 mmとする。このような構成にすることにより最下部に置かれた蛍光反射底

5 板と横軸用波長シフトファイバの表面との間には約0.5 mmの間隔が空き、中性子検出シートとの密着による蛍光集光率の低下を改善することができる。

このように作製した格子状蛍光検出体の使用方法等以降については実施例1と同じなので省略する。

縦軸用として反射板を65枚使用し、波長シフトファイバを64本使用すると共に、横軸用として反射板を65枚使用し波長シフトファイバを64本使用すると、縦軸64チャンネル及び横軸64チャンネル、中性子に対する有感部分が320 mm×320 mmの大面积の中性子二次元イメージ検出器とすることができる。

10

以上の実施例においては、発明をわかり易く説明するため、波長シフトファイバ本数が少ない比較的簡単な構成の二次元イメージ検出器について説明したが、基本的には、一つのピクセルに配置される波長シフトファイバの数を、実施例に示された本数よりも多くすることにより、検出感度をさらに増大させることができる。

15

また、以上の実施例においては、一つのピクセルに配置される波長シフトファイバの本数が2本の場合について説明しているが、3本以上の波長シフトファイバを一つのピクセルに配置し、光電子増倍管に接続することにより、一層の大面积化を実現すると共に二次元イメージ検出器全体のコストを低減することができる。例えば3本の場合は、1番目と3番目のファイバを光電子増倍管1そしてもう1本を光電子増倍管2に接続するように構成する。また、例えば4本の場合は、1番目と3番目のファイバを光電子増倍管1そして2番目と4番目を光電子増倍管2に接続するように構成する。それ以上の本数を使用する場合も同様に構成することができる。

20

請 求 の 範 囲

1. 重粒子線が入射すると蛍光を放出する蛍光体重粒子線検出シートからの蛍光を反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に重粒子線が入射することにより蛍光を放出する半透明の前記蛍光体重粒子線検出シートを配置し、縦軸検出用波長シフトファイバと横軸検出用波長シフトファイバから波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ光検出器で検出して、縦軸パルス信号と横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより重粒子線の入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。
2. 中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体に中性子コンバータである ^6Li あるいは ^{10}B 元素のうち1つ以上含んだ材料を混合した蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦軸間隔の中心位置に蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分の位置で、かつ横軸間隔の中心位置に蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に中性子が入射することにより蛍光を放出する半透明の蛍光体中性子検出シートを配置し、縦軸検出用波長シフトファイバと横軸検出用波長シフトファイバから波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ光検出器で

検出して、縦軸パルス信号と横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより中性子の入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

3. 重粒子線が入射すると蛍光を放出する蛍光体重粒子線検出シートからの蛍光を
- 5 反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための2つの溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上
- 10 半分の位置で、かつ横軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に重粒子線が入射することにより蛍光を放出する半透明の前記蛍光体重粒子線検出シートを配置し、2本以上の縦軸検出用波長シフトファイバと2本以上の横軸検出用波長シ
- 15 フトファイバから波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ光検出器で検出して、縦軸パルス信号と横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより重粒子線の入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

4. 中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体に中性子コンバータである⁶Liあるいは¹⁰B元素のうち1つ以上含んだ材料を混合した蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する縦軸検出用波長シフト
- 20 ファイバを通すための2つの溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分の位置で、かつ横軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両

面に重粒子線が入射することにより蛍光を放出する半透明の前記蛍光体中性子検出シートを配置し、2本以上の縦軸検出用波長シフトファイバと2本以上の横軸検出用波長シフトファイバから波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ光検出器で検出して、縦軸パルス信号と横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより中性子の入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

5 5. 重粒子線が入射すると蛍光を放出する蛍光体としてZnS:Agを用いた蛍光体重粒子線検出シートからの蛍光を反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための2つの溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分の位置で、かつ横軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に重粒子線が入射することにより蛍光を放出する、半透明の前記蛍光体重粒子線検出シートを配置し、2本以上の縦軸検出用波長シフトファイバからの蛍光をそれぞれ2つの光検出器で検出して2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に縦軸パルス信号とし、2本以上の横軸検出用波長シフトファイバからの蛍光をそれぞれ2つの光検出器で検出して2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより重粒子線の入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

6. 中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体に中性子コンバータである ${}^6\text{Li}$ あるいは ${}^{10}\text{B}$ 元素のうち1つ以上含んだ材料を混合した蛍光体中性子検出シートからの蛍光を反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦

軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための2つの溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分の位置で、かつ横軸間隔を3分の1に分割した2つの位置に蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状

5 蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に中性子が入射することにより蛍光を放出する半透明の前記蛍光体中性子検出シートを配置し、2本以上の縦軸検出用波長シフトファイバからの蛍光をそれぞれ2つの光検出器で検出して2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に縦軸パルス信号とし、2本以上の横軸検出用波長シフトファイバからの蛍光をそれぞれ

10 光検出器で検出して2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより中性子の入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

7. 重粒子線が入射すると蛍光を放出する蛍光体重粒子線検出シートからの蛍光を

15 反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦軸間隔の位置に少なくとも1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分の位置で、

20 かつ横軸間隔の位置に少なくとも1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に重粒子線が入射することにより蛍光を放出する半透明の前記蛍光体重粒子線検出シートを配置し、縦軸検出用波長シフトファイバの両端から波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ2つの光検出

25 器で検出し、2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に縦軸パルス信号とし、また、横軸検出用波長シフトファイバの両端から波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ2つの光検出器で検出し、2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との

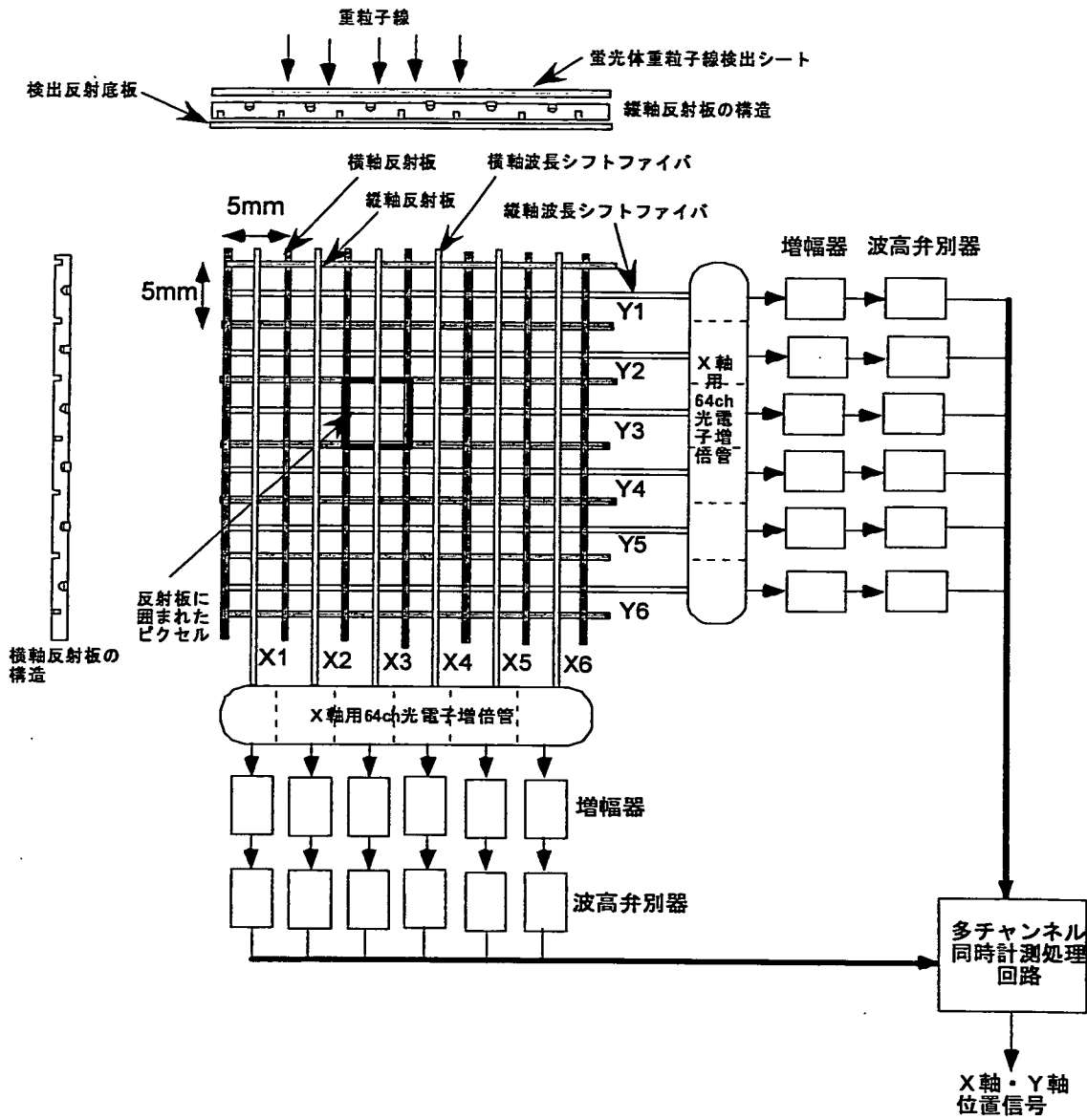
同時計数測定を行うことにより重粒子線の入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

8. 中性子が入射すると蛍光を放出する蛍光体に中性子コンバータである⁶Liあるいは¹⁰B元素のうち1つ以上含んだ材料を混合した蛍光体中性子検出シートからの蛍光反射する反射板を等間隔に縦軸方向に配列し、この反射板列に直角に蛍光を反射する反射板を等間隔に横軸に配列し反射板列を構成した格子状ピクセル構造体において、縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分の位置で、かつ縦軸間隔の位置に少なくとも1本の蛍光を検出する縦軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造とし、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分の位置で、かつ横軸間隔の位置に少なくとも1本の蛍光を検出する横軸検出用波長シフトファイバを通すための溝をあけた構造として格子状蛍光検出体を構成し、この格子状蛍光検出体の前面のみ、あるいは前面と背面の両面に中性子が入射することにより蛍光を放出する半透明の前記蛍光体中性子検出シートを配置し、縦軸検出用波長シフトファイバの両端から波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ2つの光検出器で検出し、2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に縦軸パルス信号とし、また、横軸検出用波長シフトファイバの両端から波長変換されて放出される蛍光をそれぞれ2つの光検出器で検出し、2つのパルス信号とし同時計数測定を行い成立した時に横軸パルス信号とし、この縦軸パルス信号と横軸パルス信号との同時計数測定を行うことにより中性子が入射位置を決定することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

9. 請求項1乃至8のいずれか1項において、前記溝の代わりに、波長シフトファイバが円形をしている場合には、円状の穴を縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分に、横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分に形成することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

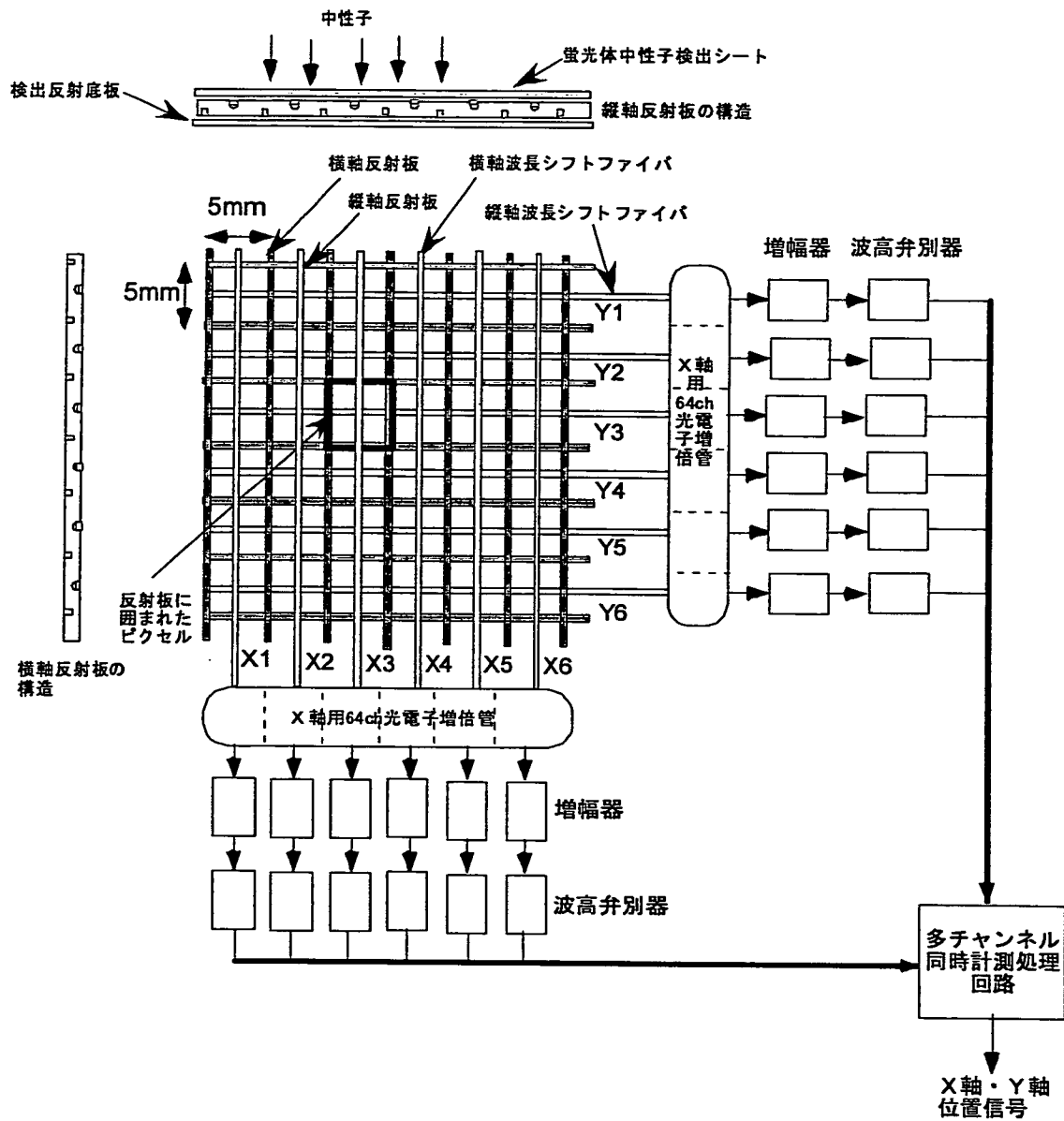
10. 請求項1乃至8のいずれか1項において、前記溝の代わりに、波長シフトファイバが正方形をしている場合には、正形状の穴を縦軸方向に配列した反射板の上半分または下半分に、正形状の穴を横軸方向に配列した反射板の下半分または上半分に形成することを特徴としたピクセル型二次元イメージ検出器。

図 1



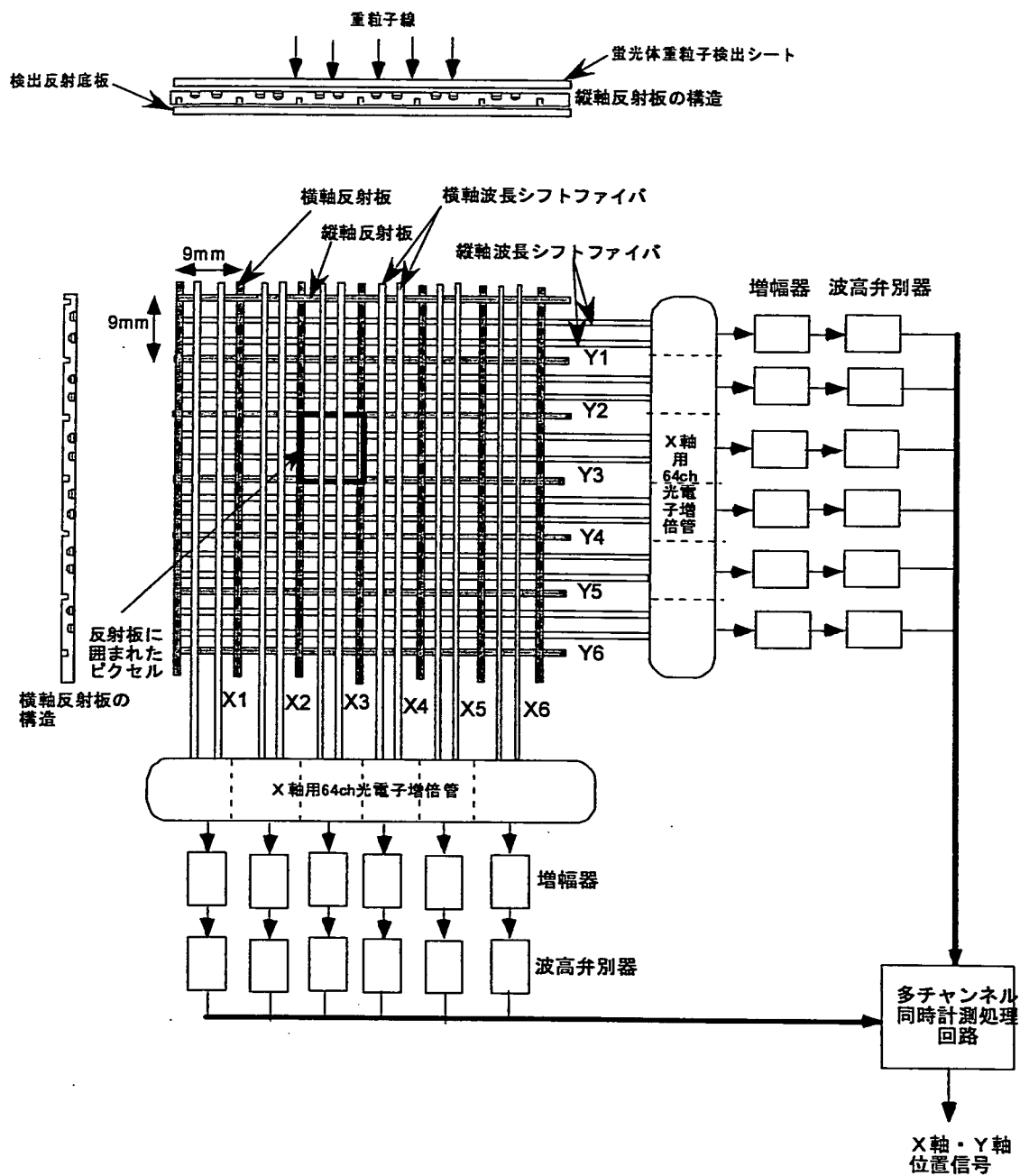
2/15

図 2



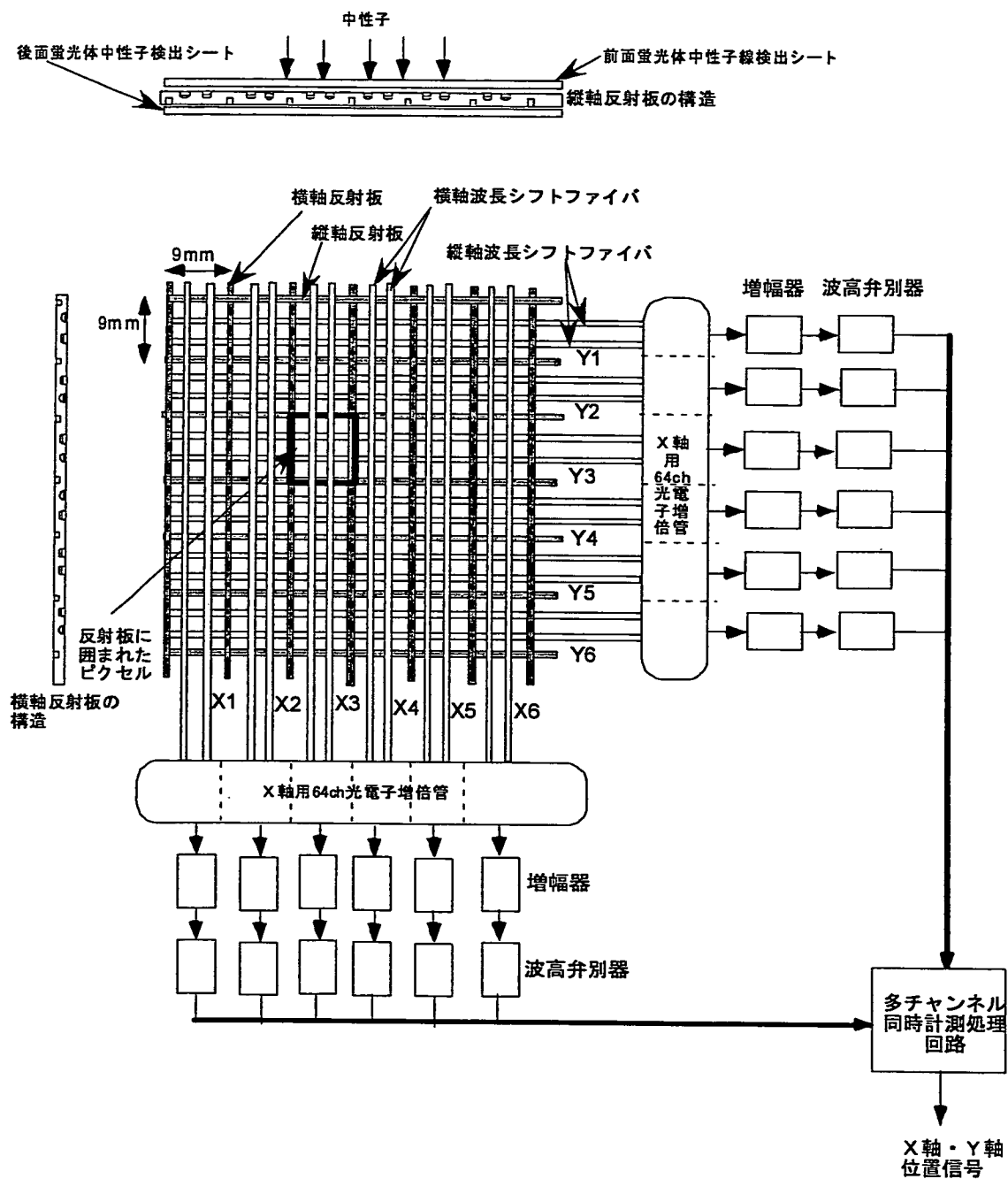
3/15

図 3



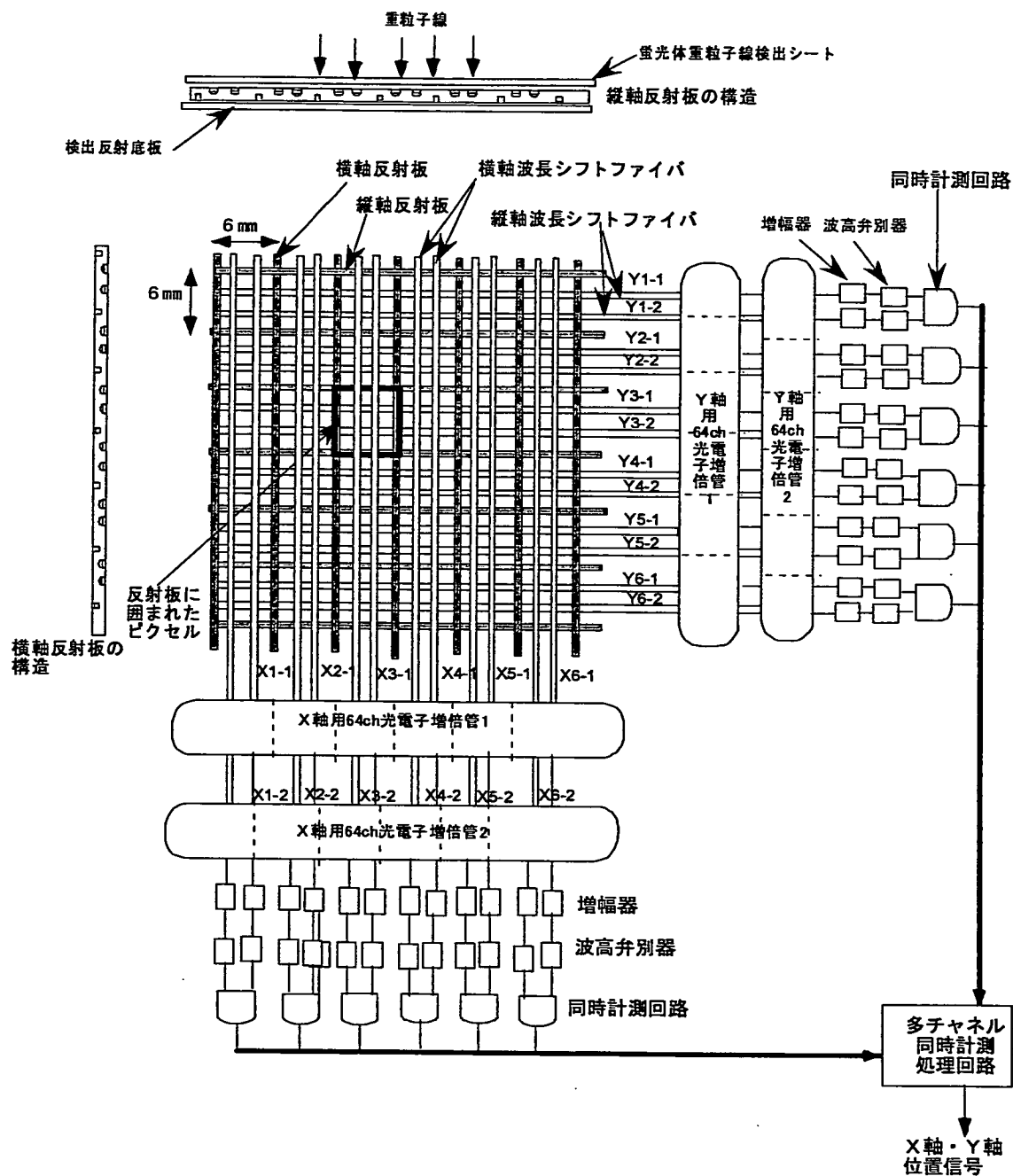
4/15

図 4



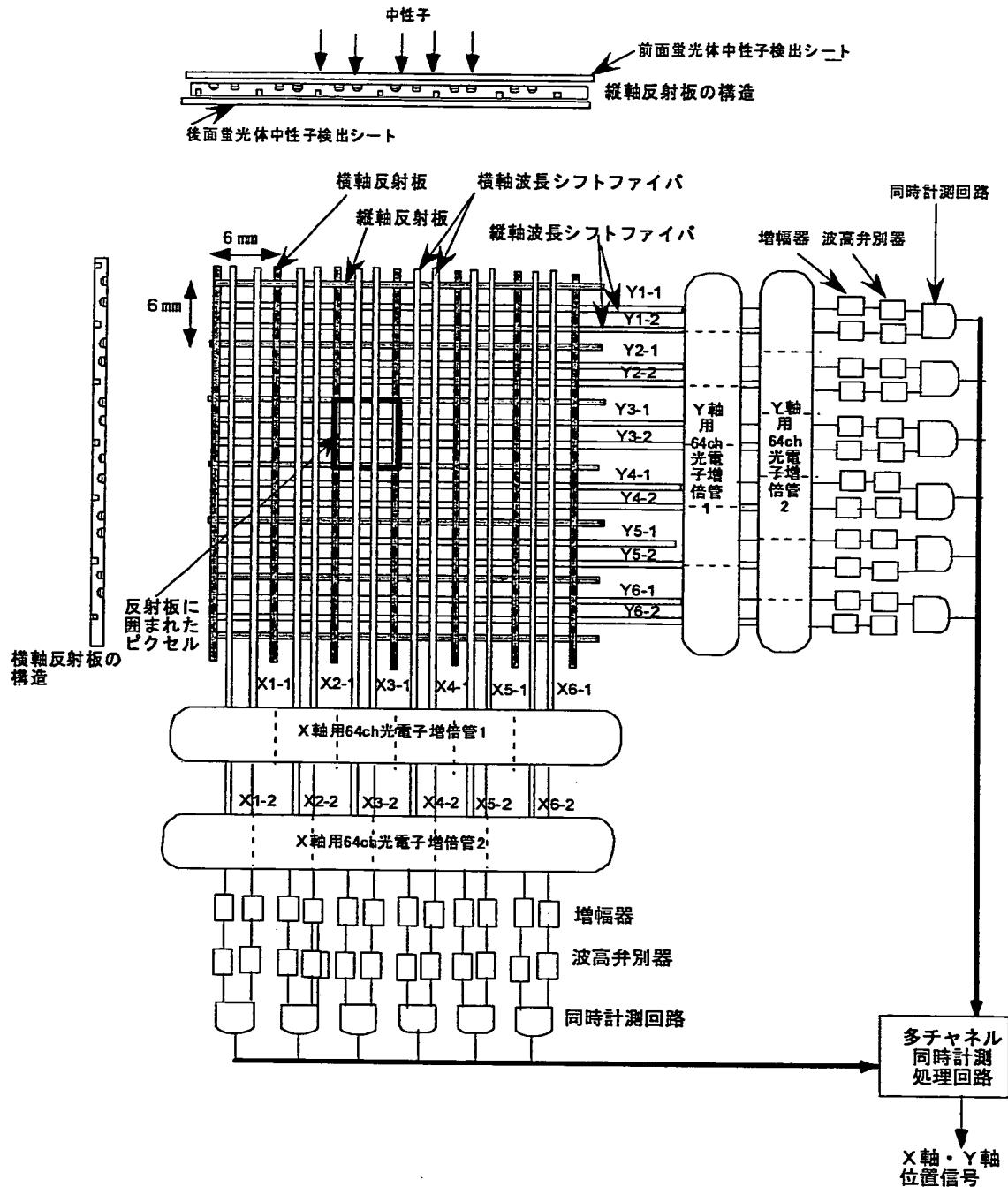
5/15

図 5



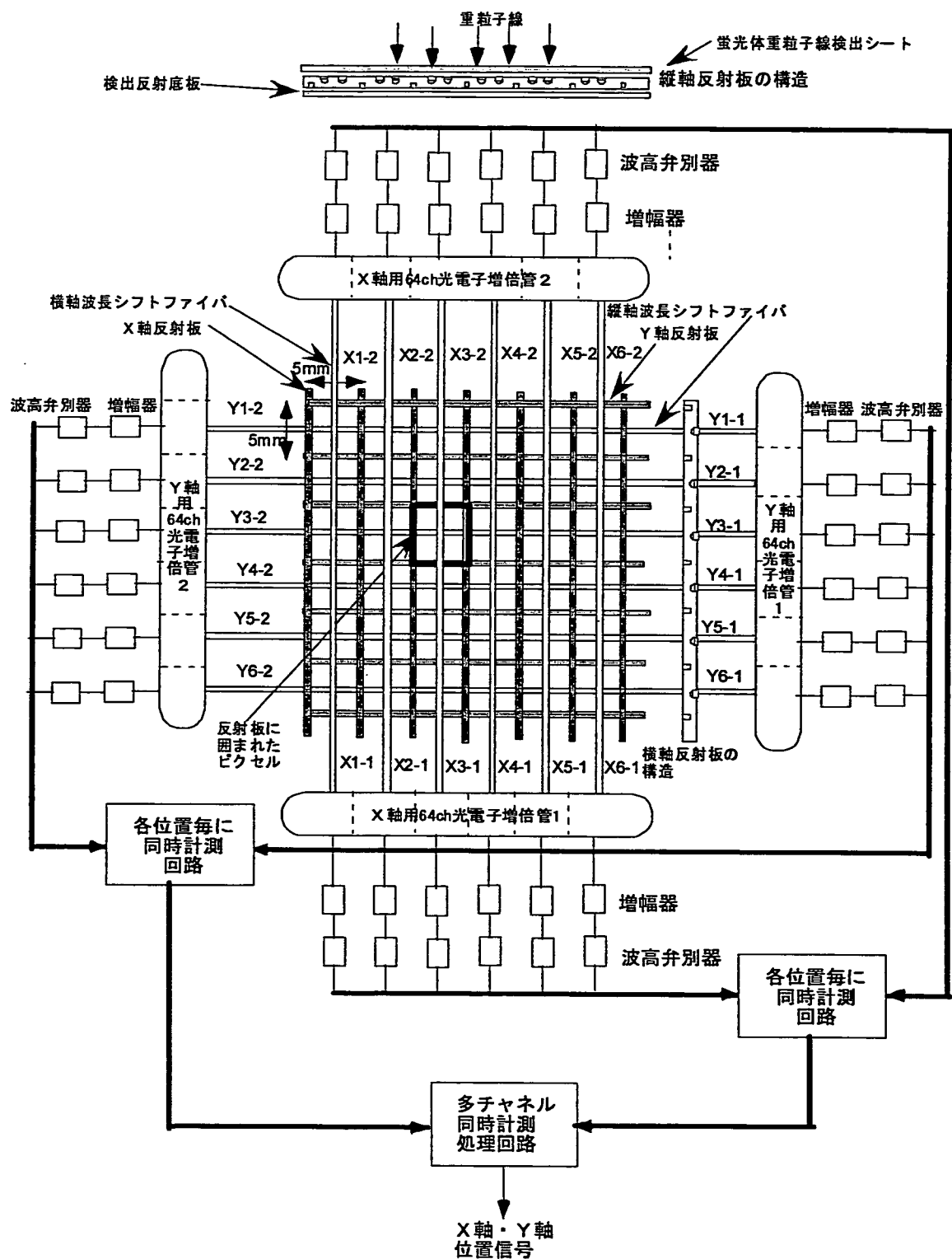
6/15

図 6



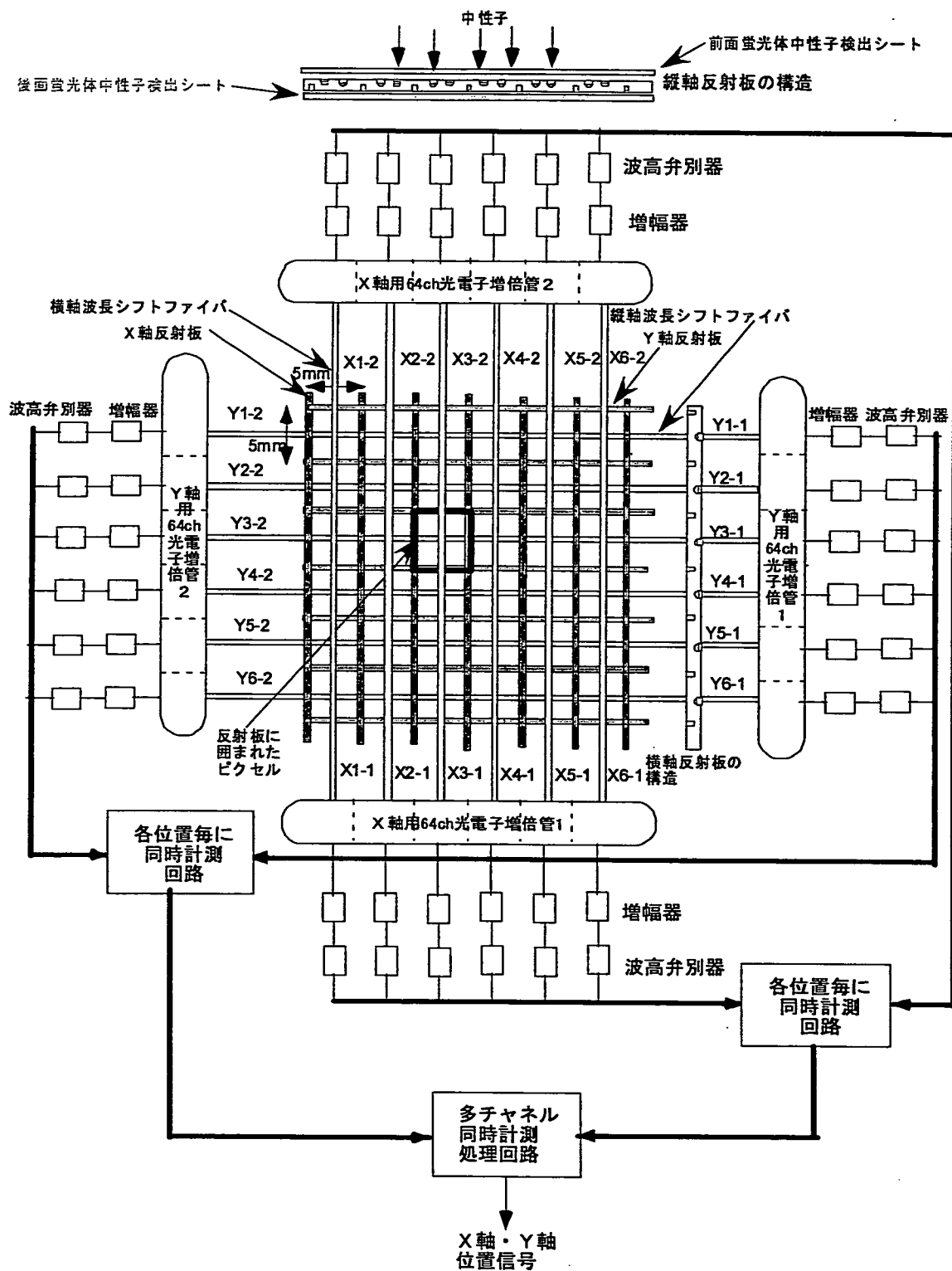
7/15

図 7



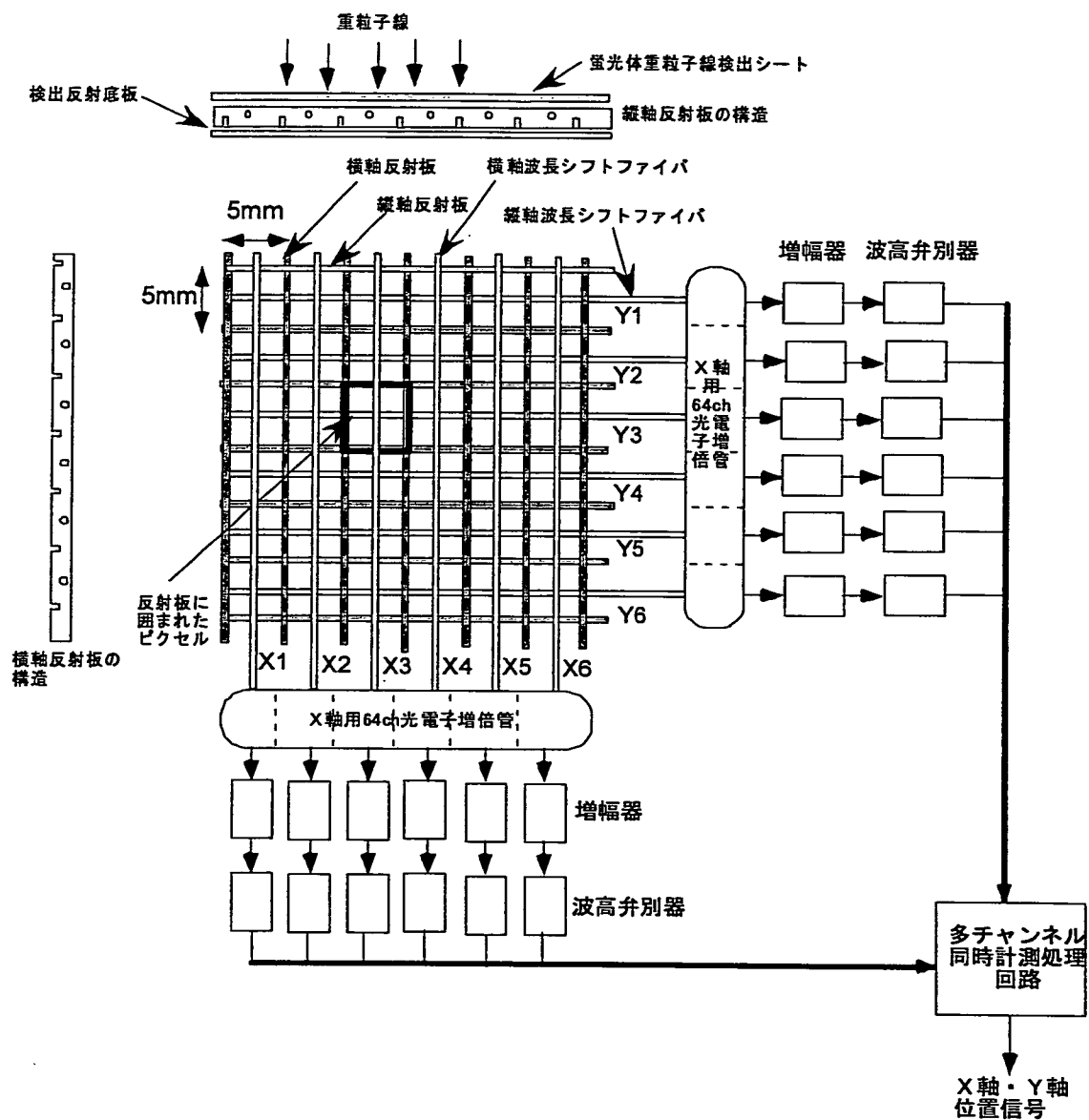
8/15

図 8



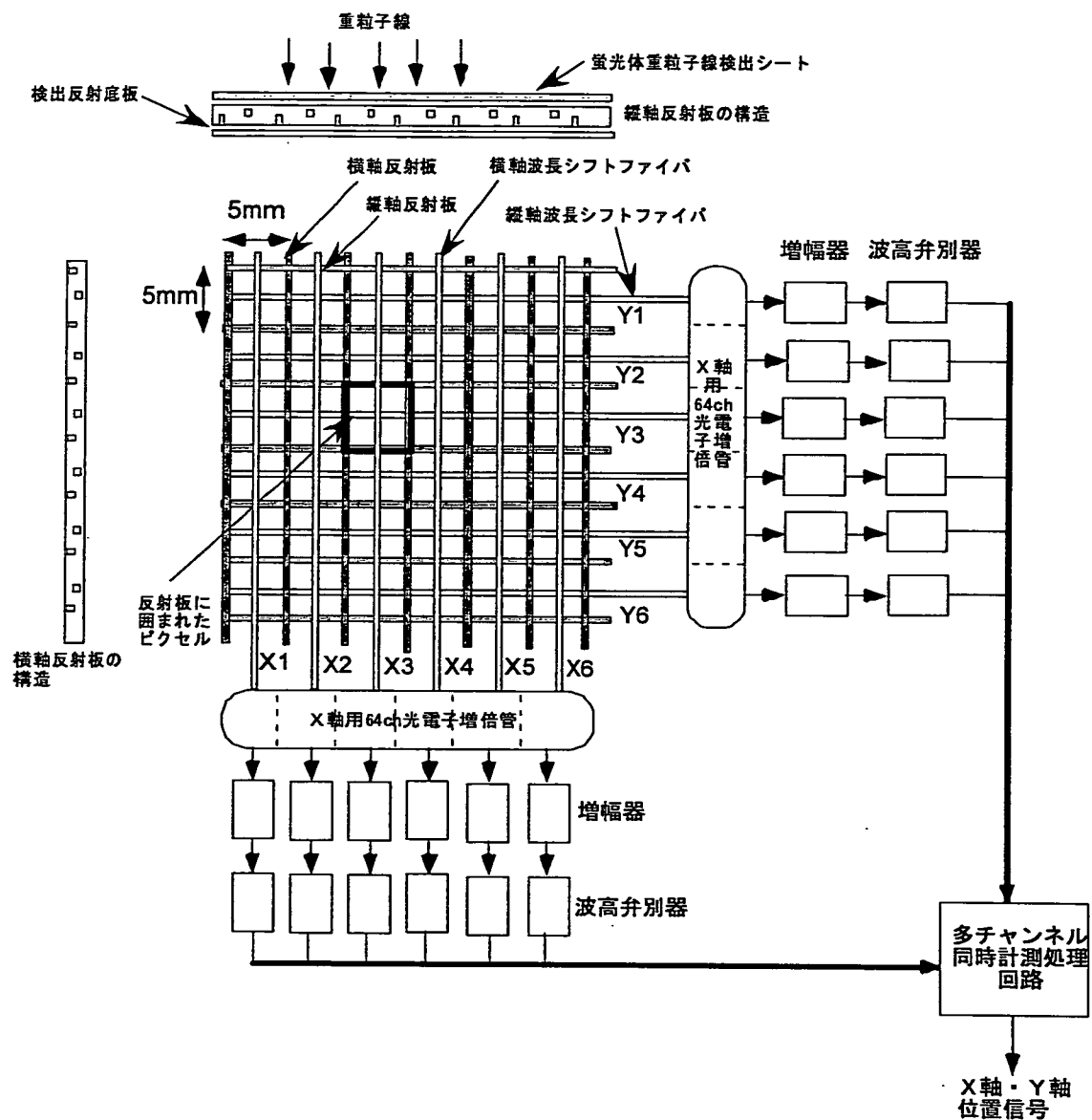
9/15

図 9



10/15

図 10



11/15

図 1 1

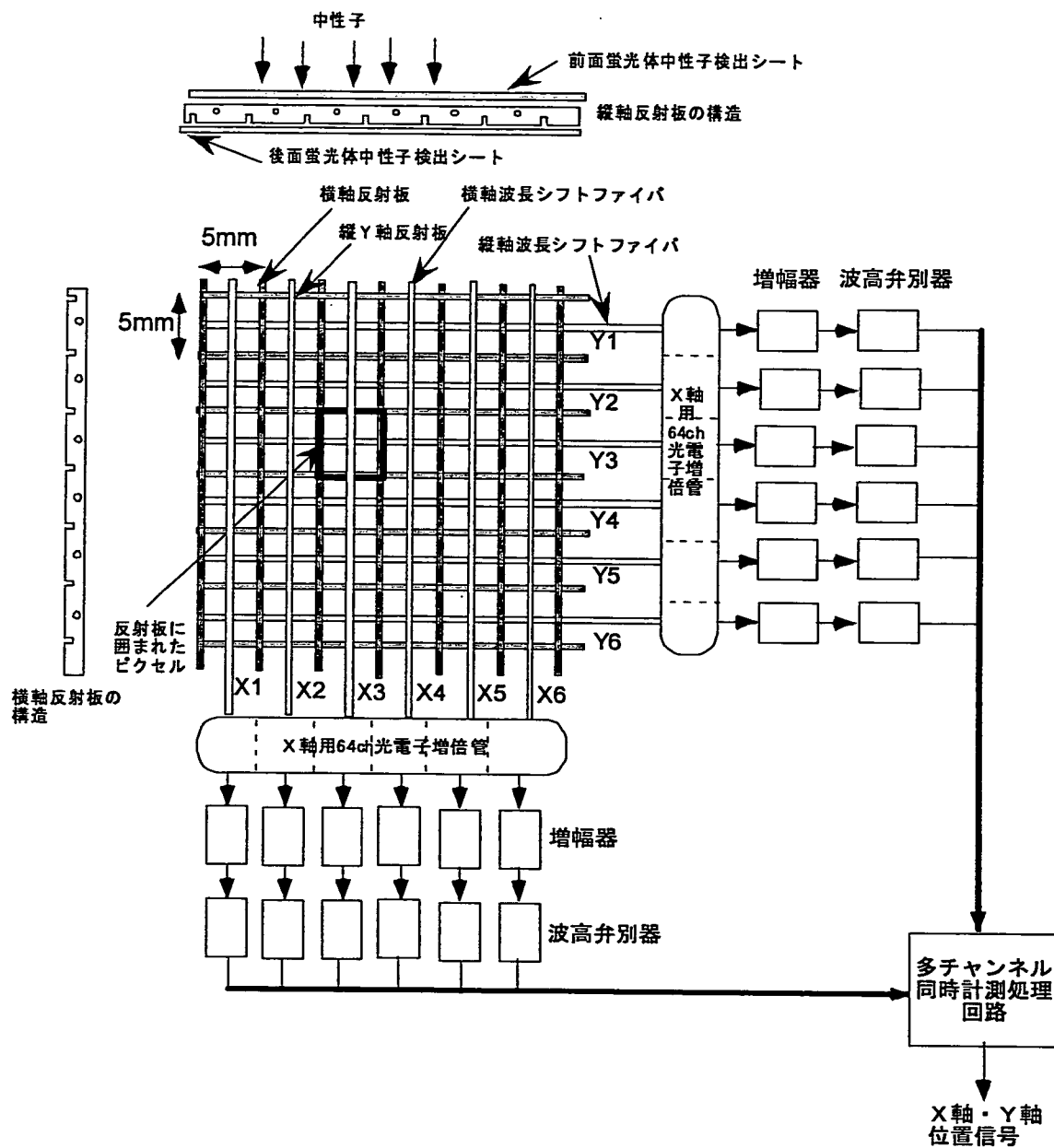
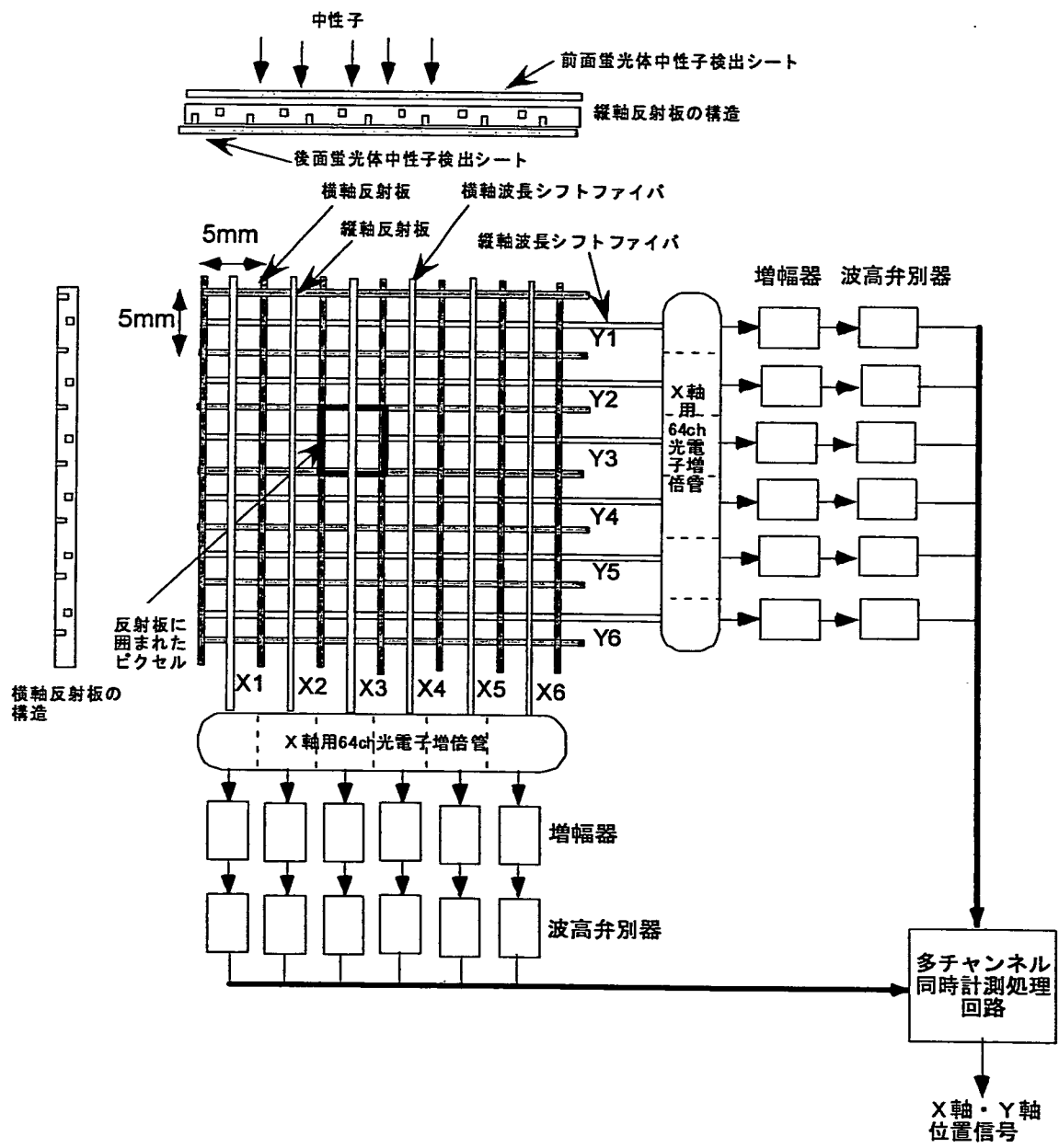


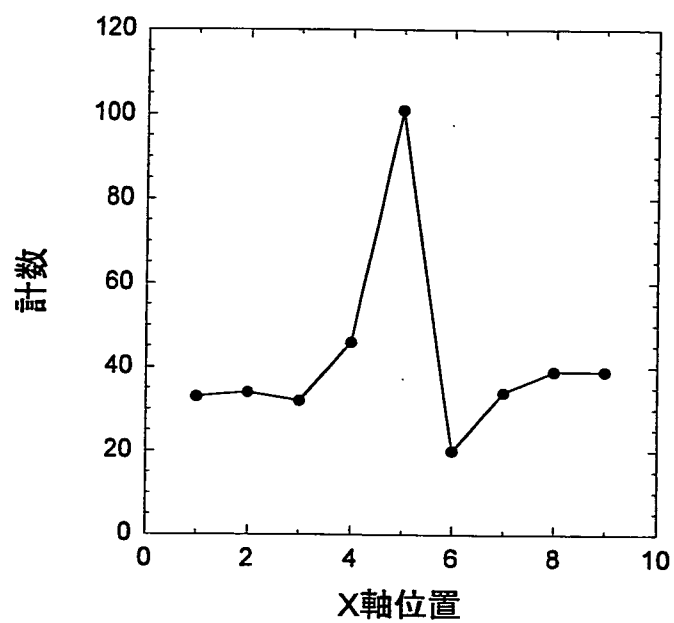
図 1 2



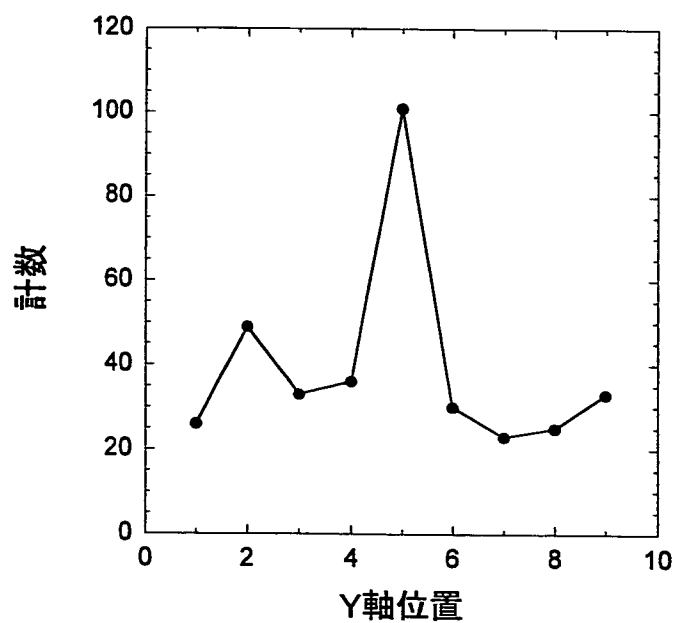
13/15

図 1 3

(A)

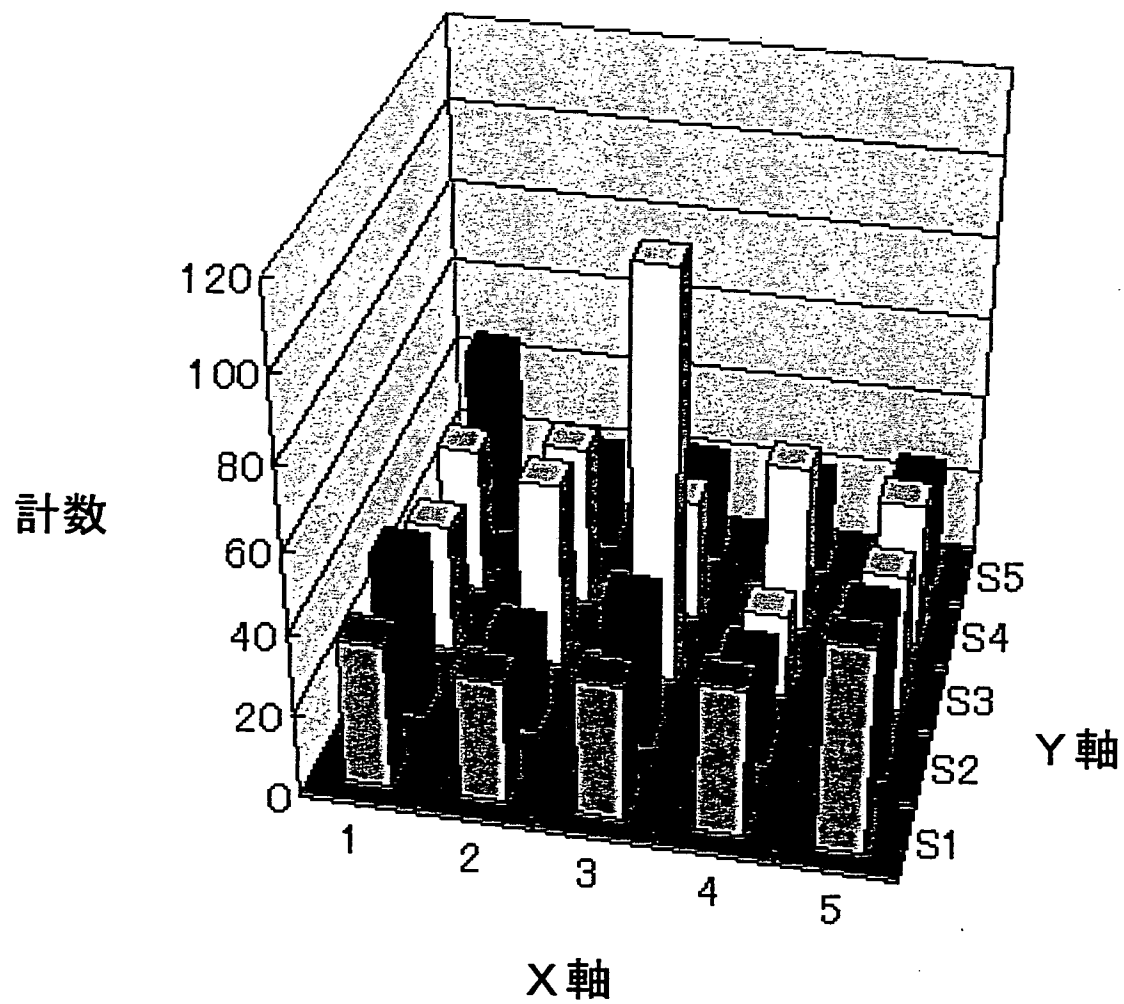


(B)



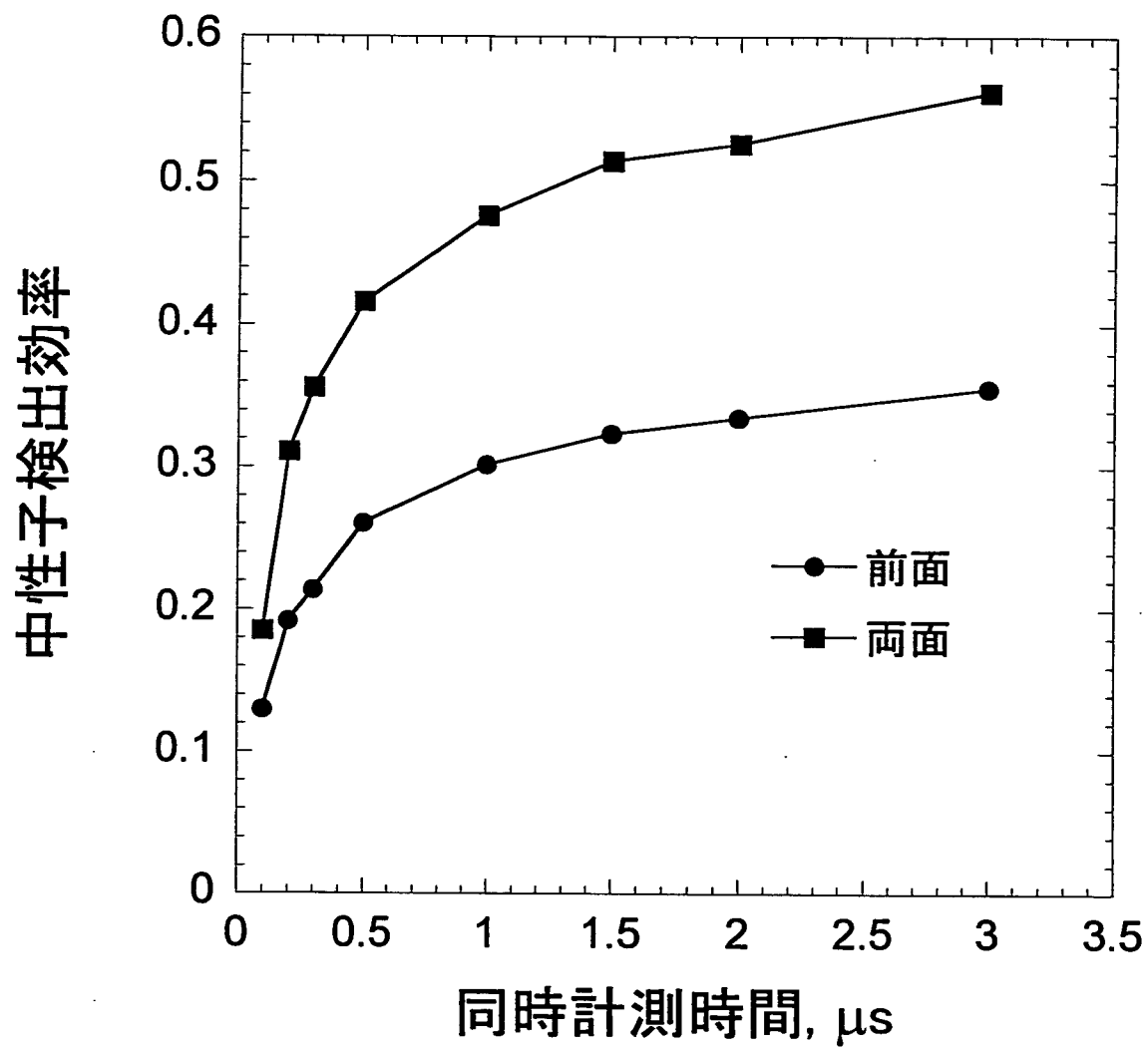
14/15

図 1 4



15/15

図 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/050231

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T1/20(2006.01) i, G01T3/06(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01T1/20, G01T3/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-71816 A (Japan Atomic Energy Research Institute), 12 March 2002 (12.03.2002), entire text; all drawings & US 2002/0121604 A1 & US 2004/0188629 A1 & US 2005/0236577 A1	1-10
A	JP 7-306270 A (Toshiba Corp.), 21 November 1995 (21.11.1995), paragraphs [0100] to [0104], [0124] to [0126]; fig. 6, 12 (Family: none)	1-10
A	Tatsuya NAKAMURA et al., "Development for upgrading Japanese ENGIN-X type linear scintillation neutron detectors", JAEA-Research, 2008-116, Japan Atomic Energy Agency, 2009.03	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 March, 2011 (07.03.11)

Date of mailing of the international search report
15 March, 2011 (15.03.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01T1/20(2006.01)i, G01T3/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01T1/20, G01T3/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2002-71816 A (日本原子力研究所) 2002.03.12, 全文および全図 & US 2002/0121604 A1 & US 2004/0188629 A1 & US 2005/0236577 A1	1 - 1 0
A	JP 7-306270 A (株式会社東芝) 1995.11.21, 第【0 1 0 0】 - 【0 1 0 4】、【0 1 2 4】 - 【0 1 2 6】段落および第6、12図 (ファミリーなし)	1 - 1 0

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

藤本 加代子

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3

2 I

4 4 5 8

C（続き）． 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	中村龍也 他 7 名， E N G I N－X 型 1 次元シンチレータ中性子検出器の検出器性能向上に関する技術開発， J A E A－R e s e a r c h， 2 0 0 8－1 1 6， 日本原子力研究開発機構， 2009.03	1－10