

(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



(10) 国際公開番号

WO 2010/041313 A1

(43) 国際公開日

2010年4月15日(15.04.2010)

PCT

- (51) 国際特許分類:  
G01T 1/161 (2006.01) G01T 1/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/068279
- (22) 国際出願日: 2008年10月8日(08.10.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人放射線医学総合研究所(National Institute of Radiological Sciences) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 Chiba (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 稲玉 直子 (INADAMA, Naoko) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内 Chiba (JP). 村山 秀雄 (MURAYAMA, Hideo) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内 Chiba (JP). 澁谷 憲悟 (SHIBUYA, Kengo) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内 Chiba (JP). 錦戸 文彦 (NISHIKIDO, Fumihiko) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法

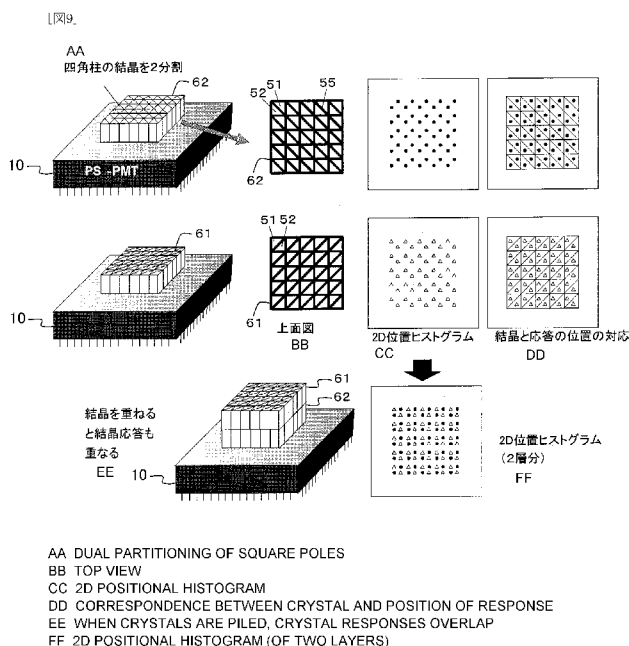
人放射線医学総合研究所内 Chiba (JP). 山谷 泰賀 (YAMAYA, Taiga) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内 Chiba (JP). 吉田 英治 (YOSHIDA, Eiji) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内 Chiba (JP).

- (74) 代理人: 高矢 諭, 外(TAKAYA, Satoshi et al.); 〒1510053 東京都渋谷区代々木二丁目10番12号 南新宿ビル Tokyo (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, 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, JP, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, 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

[続葉有]

(54) Title: DOI TYPE RADIATION DETECTOR

(54) 発明の名称: DOI型放射線検出器



(57) Abstract: This aims to provide a DOI type radiation detector in which scintillation crystals arranged two-dimensionally on a light receiving surface to form rectangular section groups in extending directions of the light receiving surface of a light receiving element (10) are stacked up to make a three-dimensional arrangement and responses of the crystals that have detected radiation are made possible to identify at response positions on the light receiving surface, so that a three-dimensional radiation detection position can be obtained. In the DOI type detector, scintillation crystals (51, 52, 53, 59) are right triangle poles extending upwards from the light receiving surface and the response positions on the light receiving surface are characterized. With this structure, DOI identification of a plurality of layers can be carried out by simply performing an Anger calculation of a light receiving element signal.

(57) 要約: 受光素子10の受光面の広がり方向に矩形区画群を形成するように該受光面上に2次元に配設したシンチレーション結晶を積層して3次元に配列し、放射線を検出した結晶の応答を受光面上の応答位置で識別可能とすることで、放射線検出位置を3次元で得るようにしたDOI型放射線検出器において、シンチレーション結晶51, 52, 53, 59を受光面上方に延びる直角三角柱と

して前記受光面における応答位置に特徴を持たせる。これにより、受光素子信号のアンガー計算のみで複数層分のDOI識別を可能とする。

WO 2010/041313 A1

(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:  
— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

## 明 細 書

## DOI型放射線検出器

## 技術分野

[0001] 本発明は、DOI型放射線検出器に係り、特に、ポジトロンイメージング装置や陽電子放射断層像撮影(PET)装置等の核医学イメージングや放射線計測の分野で用いるのに好適な、受光素子信号のアンガー計算のみで2層分のDOI識別が可能なDOI型放射線検出器に関する。

## 背景技術

[0002] 放射線検出器として、シンチレーション結晶(結晶素子ともいう)に受光素子を光学結合したものが一般的であるが、ポジトロンイメージング装置やPET装置で、より高い空間分解能を得るために、結晶素子に入射した深さ方向位置も検出可能なDOI(Depth of Interaction)型放射線検出器(以下単にDOI検出器とも称する)が開発されている。これは、図1に示す如く、位置感知型光電子増倍管(PS-PMT)等の受光素子10上に、受光面上方に延びる結晶素子の多数を3次元に配列した結晶ブロック20を配置し、光学結合して放射線を検出した結晶素子を特定することで、結晶ブロック20内での検出位置を3次元で得るようにしたものである。

[0003] このDOI検出器は、線源の存在する3次元的方向の特定に有利であり、PET装置用の放射線検出器として用いると、分解能を劣化させることなく、PET装置の感度を向上することができる。

[0004] DOI検出器内の結晶素子特定法については種々な手法があるが、例えば、受光素子10の受光面に平行2次元に配列された結晶素子の特定は、受光素子出力のアンガー計算によって行なわれ、図2に例示する如く、アンガー計算の結果を表わした2次元(2D)位置ヒストグラム上に各結晶素子の応答位置が現われる。アンガー計算は、受光素子信号の応答位置となる重心点を計算する方法であり、少数の受光素子で多数の結晶素子を弁別する方法として広く知られている。

[0005] 深さ方向の結晶識別、即ち、図1に例示した結晶素子の2次元配列21、22、23を多層(図1では3層)に積んだ層の識別には、次のような手法が提案されている。

- [0006] (1)図1(a)、(b)に示したように、層毎に波形の異なるシンチレーション結晶(図1(a)ではLSO、GSO、BGO、図1(b)では、それぞれ1.5mol%Ce、0.5mol%Ce、0.2mol%CeのGSO)を用い、波形弁別により層の識別を行なう(特許文献1、非特許文献1、2参照)。
- [0007] (2)通常、シンチレーション結晶の2次元配列では、各結晶素子間に反射材を挿入するが、その場合、各結晶素子の応答は、2D位置ヒストグラム上で結晶素子の配置を反映した位置に現われる。これを利用して、図3(a)に示す如く、例えば第1層21を6×6、第2層22を7×7の結晶配列として、層の重なりをずらしたり、あるいは、図3(b)に示す如く、各結晶素子の配置が上下でずれるように結晶ブロック20の上下から溝を切ること各結晶配列21、22にスリット30を入れ、3次元配列した各結晶素子の応答位置を分離し、図2の2D位置ヒストグラムに例示したように識別可能とする(非特許文献3、4参照)。
- [0008] (3)図4に例示する如く、2次元結晶配列21~24内の反射材32の一部を取り除き、シンチレーション光の拡がりを制御することにより、各結晶素子30の応答位置を操作することができる。図において、34は、反射材31が無くごく薄空気層の存在する部分である。これにより、図5に示す如く、3次元配列の全ての結晶の応答位置を分離して識別可能とする(特許文献2-5、非特許文献5参照)。
- [0009] (4)特定波長の波長をカットするフィルタを層間に挟むことにより得られる波長で層の識別を行なう(特許文献6、非特許文献6参照)。
- [0010] (5)上記(2)、(3)において、(1)の波形弁別と組み合わせることで更に多段にする試みもなされている(非特許文献7、8参照)。
- [0011] これらのDOI検出器は、全て四角柱型結晶、又は1素子が四角柱型になるように構成されている。
- [0012] 一方、DOI検出を行わない2次元結晶配列型放射線検出器においては、本発明のように三角柱シンチレーション結晶を使用する技術も提案されているが、いずれも結晶素子を密に配置するために結晶の形を工夫したものである。特許文献7に記載された技術は、結晶素子と受光素子を含む検出器全体を三角柱とし、多くの検出器を球状に配列する際に、隙間無く配列できるようにしたものである。

- [0013] 一方、非特許文献9に記載された技術は、円柱型の受光素子上に異なる数種の結晶素子を配列するとき、三角形の鋭角を中心に向けて配列するもので、検出した結晶を波形により特定し、放射線源の方向を特定する。
- [0014] 又、特許文献8に記載された技術は、四角柱による検出器を六角形のPET用検出器リングとして配列する際に、隙間を埋めるための補助検出器として、三角柱型シンチレーション結晶と受光素子を用いるものである。
- [0015] 特許文献1:特開平6-337289号公報  
特許文献2:特開平11-142523号公報  
特許文献3:特開2004-132930号公報  
特許文献4:特開2004-279057号公報  
特許文献5:特開2007-93376号公報  
特許文献6:特開2005-43062号公報  
特許文献7:特開平8-5746号公報  
特許文献8:特開平5-126957号公報  
非特許文献1:J. Seidel, J. J. Vaquero, S. Siegel, W. R. Gandler, and M. V. Green, "Depth identification accuracy of a three layer phoswich PET detector module," IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 46, No. 3, pp. 485-490, June 1999  
非特許文献2:S. Yamamoto and H. Ishibashi, "AGSO depth of interaction detector for PET," IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 45, No.3, pp.1078-1082, June 1998  
非特許文献3:H. Liu, T. Omura, M. Watanabe, and T. Yamashita, "Development of a depth of interaction detector for  $\gamma$ -rays," Nucl. Inst. Meth., A459, pp. 182-190, 2001.  
非特許文献4:N. Zhang, C. J. Thompson, D. Togane, F. Cayouette, K. Q. Nguyen, M. L. Camborde, "Anode position and last dynode timing circuits for dual-layer BGO scintillator with PS-PMT based modular PET detectors," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. 49, No. 5, pp. 2203-2207, October 2002.

非特許文献5:T. Tsuda, H. Murayama, K. Kitamura, T. Yamaya, E. Yoshida, T. Omura, H. Kawai, N. Inadama, and N. Orita, "A four layer depth of interaction detector block for small animal PET," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 51, pp. 2537-2542, October 2004.

非特許文献6:T. Hasegawa, M. Ishikawa, K. Maruyama, N. Inadama, E. Yoshida, and H. Murayama, "Depth-of-interaction recognition using optical filters for nuclear medicine imaging," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 52, pp. 4-7, February 2005.

非特許文献7:S. J. Hong, S. I. Kwon, M. Ito, G. S. Lee, K.-S. Sim, K. S. Park, J. T. Rhee, and J. S. Lee, "Concept verification of three-layer DOI detectors for small animal PET," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol.51, pp. 912-917, June 2008.

非特許文献8:N. Inadama, H. Murayama, M. Hamamoto, T. Tsuda, Y. Ono, T. Yamaya, E. Yoshida, K. Shibuya, and F. Nishikido, "8-layer DOI encoding of 3-dimensional crystal array," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol.53, pp. 2523-2528, October 2006.

非特許文献9:白川芳幸, "全方向性 $\gamma$ 線検出器の開発," Radioisotopes, vol. 53, pp. 445-450, 2004.

- [0016] (1)の波形弁別による方法は、特定の結晶の組み合わせで可能になるが、弁別誤差を伴うこと、検出器の時間分解能や計数特性が低下してしまう問題点が指摘されている。(2)の層の位置を互いにずらす方法は、ずらし方の微調節が必要であり、また結晶配列の大きさが上下層で異なるため結晶配列全体に反射材を巻くのが容易でない。更に(3)の光分配の制御による方法では、図6に示すように2D位置ヒストグラム上に無駄な空間ができる。結晶応答位置間の距離が離れているほど、分離が良く、識別能の向上につながるため、2D位置ヒストグラム上に結晶応答位置が均一間隔で並ぶのが理想的である。さらに、2D位置ヒストグラム上での各結晶応答位置を示す範囲の広がり小さくすることも結晶応答位置間の距離を離すために重要であるが、そのためには、シンチレーション光を受光素子で検出する効率を高める必要がある。しかし、四角柱型の結晶では、内部でシンチレーション光が正反射を繰り返してしまうことがあるため、上記の効率を高めることが困難であった。(4)の波長カットフ

ィルタによる方法も、シンチレーション光の収集効率を低下させてしまう。

### 発明の開示

- [0017] 本発明は、前記従来の問題点を解消するべくなされたもので、受光素子信号のアンガー計算のみで複数層分のDOI識別を可能とし、さらに計測データの処理の容易なDOI型放射線検出器を提供することを課題とする。
- [0018] 本発明は、受光素子の受光面の広がり方向に矩形(長方形又は正方形)区画(図4の反射材で囲まれた区画参照)群を形成するように該受光面上に2次元に配設したシンチレーション結晶を積層して3次元に配列し、放射線を検出した結晶の応答を受光面上の応答位置で識別可能とすることで、放射線検出位置を3次元で得るようにしたDOI型放射線検出器において、シンチレーション結晶を受光面上方に延びる直角三角柱として前記受光面における応答位置に特徴を持たせることにより、前記課題を解決したものである。
- [0019] ここで、前記受光面の所定位置上方における所定の2層間のシンチレーション結晶の組み合わせを、第1層を受光面上方に延びる直角三角柱とし、第2層を受光面上方に延びる直方体柱として、受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらすことができる。
- [0020] 又、前記受光面の所定位置上方における所定の2層間のシンチレーション結晶の組み合わせを、第1層と第2層共に受光面上方に延びる直角三角柱とし、それらの向きを異ならせることで、受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらすことができる。
- [0021] 更に、前記受光面の所定位置上方における所定の2層のシンチレーション結晶の材質を互いに変えて、受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらすことができる。
- [0022] 又、二つの前記直角三角柱の斜辺を互いに対向するように配設して四角柱とし、前記長方形区画を形成することができる。
- [0023] 又、前記受光面の所定位置上方における所定の2層間のシンチレーション結晶の組み合わせを、各々の頂角を形成する辺が互いに集中するように四つの直角三角柱のシンチレーション結晶を配設して形成した四角柱ブロックと、各々の一角を形成

する1辺が互いに集中するように4つの四角柱のシンチレーション結晶を配設し且つ両四角柱ブロックの柱軸に対する垂直断面が同形状となるように形成した四角柱ブロックとし、各四角柱ブロックが前記長方形区画を形成するようにすることができる。

[0024] 又、前記結晶の大きさを、対角線で4分割した場合の結晶2つ分とすることができる。

[0025] 更に、前記結晶2つ分の大きさの結晶を最下層に用いることができる。

[0026] 又、八つの前記直角三角柱のシンチレーション結晶を各々の頂角を形成する1辺が互いに集中するように配設して四角柱ブロックを形成し、更に該四角柱ブロックの側面を反射材で囲って側面遮光四角柱ブロックとし、受光面の所定位置上方における所定層間で該側面遮光四角柱ブロックの重なりを直角三角柱のシンチレーション結晶の短辺の長さだけ該短辺の1延長方向にずらすことで受光面における両結晶の応答を受光面の広がり方向にずらすことができる。

[0027] 又、4層において、各層毎に前記延長方向を相違させることができる。

[0028] 又、二つの前記直角三角柱のシンチレーション結晶を各々の斜辺が互いに対向するように配設して四角柱を形成し、更に該四角柱の四つを各々の前記斜辺を含まない1角を形成する辺が互いに集中するように配設して四角柱ブロックを形成し、更に該四角柱ブロックの側面を反射材で囲って側面遮光四角柱ブロックとし、受光面の所定位置上方における所定層間で該側面遮光四角柱ブロックの重なりを直角三角柱のシンチレーション結晶の短辺の長さだけ短辺の1延長方向にずらすことで、受光面における両結晶の応答を受光面の広がり方向にずらすことができる。

[0029] 又、4層において、各層毎に前記延長方向を相違させることができる。

[0030] 又、前記のDOI型放射線検出器を組み合わせて、受光面の所定位置上方における八層までの結晶の各応答を受光面の広がり方向にずらすことができる。

[0031] 又、前記のDOI型放射線検出器の材質を変えて積層し、更に多層構造とすることができる。

[0032] 更に、前記直角三角柱を、直角2等辺三角柱とすることができる。

[0033] 本発明によれば、受光素子信号のアンガー計算のみで複数層分のDOI識別が可能となる。更に、矩形区画群を形成したので、処理が容易で、隣接するブロックとの



つながりも良好である。

[0034] 本発明において、結晶断面が直角三角形から多少ずれても同様の効果を得ることが出来る。形状のずれは、直角からの角度のずれだけでなく、三角形の頂点の角度の丸め込みも含むものとする。ずれの許容範囲は、結晶配列を組んだときにPET検出器、または放射線検出器としての感度を損なわない程度、そして2D位置ヒストグラム上で結晶識別が不可能にならない程度とする。

[0035] PS-PMTの受光面は四角形状のものが多く用いられるが、検出器の放射線検出感度を高めるためには、受光面上に隙間なくシンチレーション結晶を配置する必要がある。本発明では、シンチレーション結晶が受光素子の受光面の広がり方向に長方形区画を形成するので、四角形状の受光素子に高密度に結晶を配置することが容易となる。

#### 図面の簡単な説明

- [0036] [図1]従来のDOI検出器の構成例を示す斜視図  
[図2]従来のDOI検出器における2D位置ヒストグラム上の結晶応答位置の例を示す図  
[図3]従来のDOI検出器の他の構成例を示す斜視図  
[図4]従来のDOI検出器の更に他の例を示す図  
[図5]図4の例により構成された4層DOI検出器の例を示す図  
[図6]従来の四角柱状シンチレーション結晶で2層DOI検出器を構成した場合の問題点を示す図  
[図7]本発明の原理を説明するための、(a)比較例と(b)本発明の上面図、2D位置ヒストグラム、及び結晶と応答位置の対応を示す図  
[図8]同じく、2層化した状態を示す図  
[図9]本発明の第1実施形態である三角柱結晶による2層DOI検出器を示す図  
[図10]四角柱結晶の2通りの4分割の仕方と、それによって得られる結晶応答位置を示す図  
[図11]本発明の第2実施形態である、三角柱結晶と四角柱結晶の組み合わせによる2層DOI検出器を示す図

[図12]同じく3層目の結晶配置と大きさを示す図

[図13]本発明の第3実施形態である、三角柱結晶と四角柱結晶の組み合わせによる3層DOI検出器を示す図

[図14]第3実施形態で得られる2D位置ヒストグラムの説明図

[図15]変形例を示す図

[図16]他の例を示す図

[図17]本発明の第4実施形態である、3角柱結晶による8層DOI検出器を示す図

[図18]第4実施形態の結晶配列構造の一部と結晶応答位置の対応を示す図

[図19]同じく第4実施形態の結晶配列構造の残部と結晶応答位置の対応を示す図

[図20]同じく4層分の2D位置ヒストグラムと8層分の2D位置ヒストグラムを示す図

発明を実施するための最良の形態

[0037] 以下図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

[0038] 図7(a)に示す如く、四角柱型結晶素子50の側面がすべて反射材55で覆われている場合、受光素子10出力のアンガー計算の結果を表した2D位置ヒストグラム上で、結晶応答は受光素子面で結晶底面の重心に相当する位置に現れる。それは、結晶底面が他の多角形でも同じである。従って、図7(b)に示す如く、四角柱を分割して2つの直角三角柱51、52にすると、応答は、それぞれの三角形の重心に相当する位置に現れる。

[0039] 2層DOI検出器用結晶配列で、結晶が四角柱であると、上下に重なる結晶の応答位置が一致し識別不可能である。そこで、図8に示すように、各結晶を直角三角柱とし、二つの直角三角柱の斜辺を互いに対向するように配設して四角柱とする。そして上層61の結晶分割と下層62の結晶分割の方向を変えることで、上層61の結晶とその下層62の結晶の応答位置が互いに受光面の広がり方向に互いにずれるので、一つの2D位置ヒストグラム上で結晶識別が可能となる。

[0040] 即ち、本発明の第1実施形態は、図9に示す如く、四角柱の結晶を2分割した組み合わせ、即ち二つの直角2等辺三角柱の結晶素子51、52を、斜辺を互いに対向させて配設して四角柱とし、例えば斜辺を右上がりに配置した第1層上層61と、斜辺を左上がりに配置した第2層下層62とを積層して構成した三角柱結晶による2層DOI

検出器である。反射材55は、全ての結晶素子間に挿入する。

[0041] この場合、2D位置ヒストグラム上での結晶素子の応答は、各結晶素子が受光面上方に延びる三角柱であるので結晶端面の三角形の重心に相当する位置に現われる。従って、図9に示したように、直角2等辺三角柱を受光面の所定位置上方においてその斜辺の方向がその上下層で異なるように配置することで、受光面における両結晶の応答位置が互いに受光面の広がり方向にずれて分離される。

[0042] なお、結晶素子の平面形状は直角2等辺三角柱に限定されず、不等辺直角三角柱としても良い。

[0043] 又、図10に示すように、四角柱結晶50を51～54に4分割する方向を図示の如く変えることで、両者を積層した場合の結晶識別が可能となる。

[0044] 即ち、図11に示す第2実施形態のように、第一層71を各々の頂角を形成する辺が互いに集中するように四つの直角三角柱のシンチレーション結晶を配設して形成した四角柱ブロックで構成し、第2層72を各々の一角を形成する1辺が互いに集中するように4つの四角柱のシンチレーション結晶を配設した四角柱ブロックで構成し、両四角柱ブロックの柱軸に対する垂直断面が同形状となるようにして、2層DOI検出器とすることができる。応答は結晶の形状の中心に現れるため、両者を重ねた場合1つの2D位置ヒストグラム上で全ての結晶応答が重なることなく受光面の広がり方向にずれて結晶識別が可能となる。

[0045] 又、例えば感度向上の目的で2倍の大きさの結晶を検出効率が最も低い最下層に置き3層DOI検出器とする場合は、図12に示す形状の結晶を用いることにより、図13に示す第3実施形態のように、やはり重心演算のみですべての結晶識別が可能な2D位置ヒストグラムを得ることができる。最下層73の結晶の大きさは、図12に示すように対角線に4分割した場合の結晶2つ分である。得られる2D位置ヒストグラムの説明図を図14に示す。

[0046] なお、図15に2層の例で示す如く、シンチレーション結晶の材質を層毎に変えたり、図16に示す如く、交互に変えるなどして、更に多層化してもよい。

[0047] 又、図17に示す第4実施形態に示すように、四角柱結晶を対角線方向に8分割した組み合わせとして背景技術(3)のシンチレーション光の広がり制御を行うことで、

8層分のDOI識別が可能となる。波形弁別法を用いないため、単一結晶で8層DOI検出器を作ることができる。

[0048] 原理図を図17乃至21に表す。図17は、8層積層シンチレーションブロック各層の、結晶配列内と内部の反射構造及び各層に対応する2Dヒストグラムを示す。即ち、図に示すように直角三角柱型結晶を配列して反射材55を挿入すると、シンチレーション光は結晶間の空気層56方向に広がるため、図に示すような2D位置ヒストグラムが得られる。ここで、●印は1層目、○印は2層目、△印は3層目、×印は4層目、□印は5層目、■印は6層目、▲印は7層目、\*印は8層目の結晶応答位置を示す。

[0049] 図18は、二つの前記直角三角柱のシンチレーション結晶を各々の斜辺が互いに対向するように配設して四角柱を形成し、さらに該四角柱の四つを各々の前記斜辺を含まない1角を形成する辺が互いに集中するように配設して四角柱ブロックを形成し、さらに該四角柱ブロックの側面を反射材で囲って側面遮光四角柱ブロックとし、受光面の所定位置上方における所定層間で該側面遮光四角柱ブロックの重なりを直角三角柱のシンチレーション結晶の短辺の長さだけ短辺の1延長方向にずらすことで受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらせるように構成した結晶配列構造と結晶応答位置の対応図である。

[0050] 図19は、八つの前記直角三角柱のシンチレーション結晶を各々の頂角を形成する1辺が互いに集中するように配設して四角柱ブロックを形成し、さらに該四角柱ブロックの側面を反射材で囲って側面遮光四角柱ブロックとし、受光面の所定位置上方における所定層間で該側面遮光四角柱ブロックの重なりを直角三角柱のシンチレーション結晶の短辺の長さだけ該短辺の1延長方向にずらすことで受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらせるように構成した結晶配列構造と結晶応答位置の対応図である。

[0051] これらの結晶配列を4層ずつ重ねたときの応答位置を示す2Dヒストグラムが図20(a)、8層重ねたときの応答位置を示す2Dヒストグラムが図20(b)となる。端では分割・反射材挿入の条件が変わるため結晶応答位置の重なりが見られるが、ここで提案する条件を満たしている中央部では、8層分の結晶応答位置が重なることなく識別可能となっている。故に、この方法により8層までの結晶応答位置が重なることなく識別可

能となる。

[0052] 図18及び図19に示した結晶配列構造と、異なるシンチレーション材質を組み合わせることにより8層以上の積層も可能となる。

[0053] なお、本発明の直角三角柱状の結晶素子は、立方体状等のシンチレーション結晶塊を切断して製作しても良いし、直角三角柱状のインゴットで製作しても良いし、その製造方法は限定するものではない。

産業上の利用の可能性

[0054] 本発明に係るDOI型放射線検出器は、PET装置だけでなく、核医学イメージング装置や放射線測定装置一般に用いることができる。

## 請求の範囲

- [1] 受光素子の受光面の広がり方向に矩形区画群を形成するように該受光面上に2次元に配設したシンチレーション結晶を積層して3次元に配列し、放射線を検出した結晶の応答を受光面上の応答位置で識別可能とすることで、放射線検出位置を3次元で得るようにしたDOI型放射線検出器において、  
シンチレーション結晶を受光面上方に延びる直角三角柱として前記受光面における応答位置に特徴を持たせたことを特徴とするDOI型放射線検出器。
- [2] 前記受光面の所定位置上方における所定の2層間のシンチレーション結晶の組み合わせを、第1層を受光面上方に延びる直角三角柱とし、第2層を受光面上方に延びる直方体柱として、受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらせたことを特徴とする請求項1に記載のDOI型放射線検出器。
- [3] 前記受光面の所定位置上方における所定の2層間のシンチレーション結晶の組み合わせを、第1層と第2層共に受光面上方に延びる直角三角柱とし、それらの向きを異ならせることで、受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらせたことを特徴とする請求項1に記載のDOI型放射線検出器。
- [4] 前記受光面の所定位置上方における所定の2層のシンチレーション結晶の材質を互いに変えて、受光面における両結晶の応答位置を受光面の広がり方向にずらせたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のDOI型放射線検出器。
- [5] 二つの前記直角三角柱の斜辺を互いに対向するように配設して四角柱とし、前記長方形区画を形成したことを特徴とする請求項1及至4のいずれかに記載のDOI型放射線検出器。
- [6] 前記受光面の所定位置上方における所定の2層間のシンチレーション結晶の組み合わせを、  
各々の頂角を形成する辺が互いに集中するように四つの直角三角柱のシンチレーション結晶を配設して形成した四角柱ブロックと、  
各々の一角を形成する1辺が互いに集中するように4つの四角柱のシンチレーション結晶を配設し且つ両四角柱ブロックの柱軸に対する垂直断面が同形状となるように形成した四角柱ブロックとし、

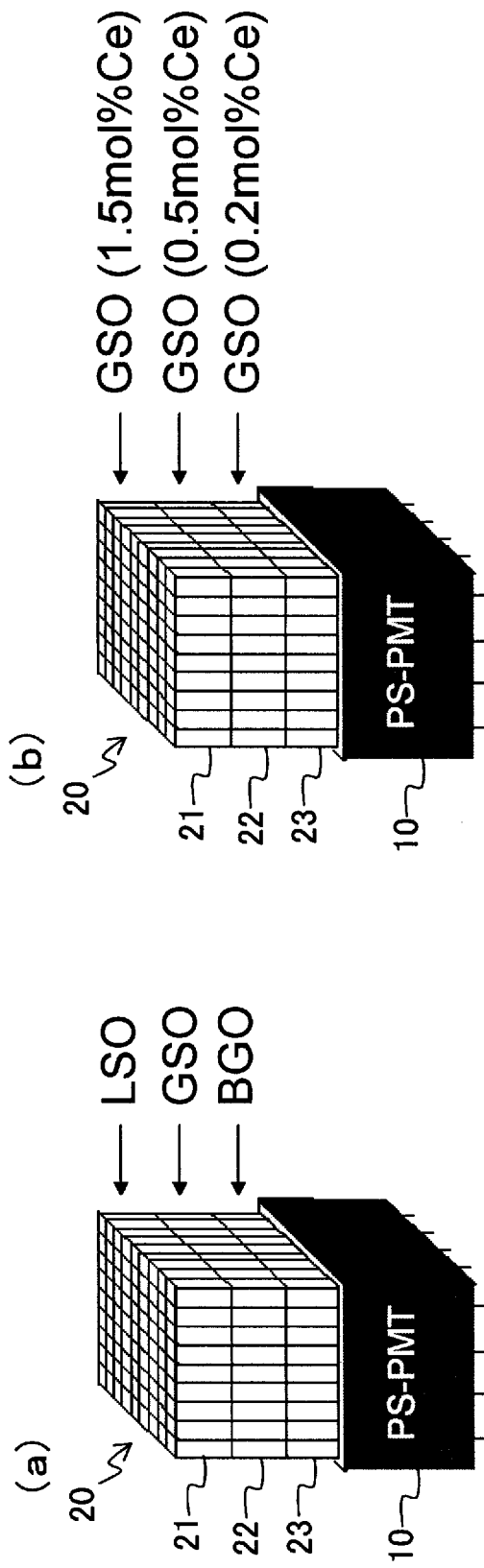
- 各四角柱ブロックが前記長方形区画を形成することを特徴とする請求項1に記載のDOI型放射線検出器。
- [7] 前記結晶の大きさが、対角線で4分割した場合の結晶2つ分である請求項1に記載のDOI型放射線検出器。
- [8] 前記結晶2つ分の大きさの結晶を最下層に用いたことを特徴とする請求項7に記載のDOI型放射線検出器。
- [9] 八つの前記直角三角柱のシンチレーション結晶を各々の頂角を形成する1辺が互いに集中するように配設して四角柱ブロックを形成し、  
更に該四角柱ブロックの側面を反射材で囲って側面遮光四角柱ブロックとし、  
受光面の所定位置上方における所定層間で該側面遮光四角柱ブロックの重なりを直角三角柱のシンチレーション結晶の短辺の長さだけ該短辺の1延長方向にずらすことで受光面における両結晶の応答を受光面の広がり方向にずらせたことを特徴とする請求項1に記載のDOI型放射線検出器。
- [10] 4層において、各層毎に前記延長方向を相違させたことを特徴とする請求項9に記載のDOI型放射線検出器。
- [11] 二つの前記直角三角柱のシンチレーション結晶を各々の斜辺が互いに対向するように配設して四角柱を形成し、  
更に該四角柱の四つを各々の前記斜辺を含まない1角を形成する辺が互いに集中するように配設して四角柱ブロックを形成し、  
更に該四角柱ブロックの側面を反射材で囲って側面遮光四角柱ブロックとし、  
受光面の所定位置上方における所定層間で該側面遮光四角柱ブロックの重なりを直角三角柱のシンチレーション結晶の短辺の長さだけ短辺の1延長方向にずらすことで、受光面における両結晶の応答を受光面の広がり方向にずらせたことを特徴とする請求項1に記載のDOI型放射線検出器。
- [12] 4層において、各層毎に前記延長方向を相違させたことを特徴とする請求項11に記載のDOI型放射線検出器。
- [13] 請求項9又は10と請求項11又は12に記載のDOI型放射線検出器を組み合わせ、受光面の所定位置上方における八層までの結晶の各応答を受光面の広がり方

向にずらせたことを特徴とするDOI型放射線検出器。

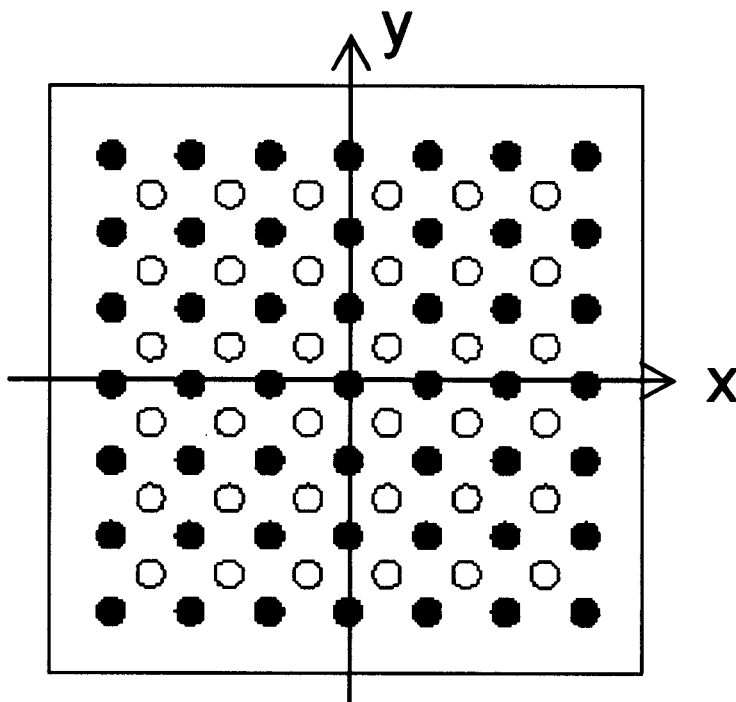
- [14] 請求項1乃至13のいずれかにおけるDOI型放射線検出器の材質を変えて積層し、更に多層構造としたことを特徴とするDOI型放射線検出器。
- [15] 前記直角三角柱が、直角2等辺三角柱であることを特徴とする請求項1乃至14のいずれかに記載のDOI型放射線検出器。



[図1]

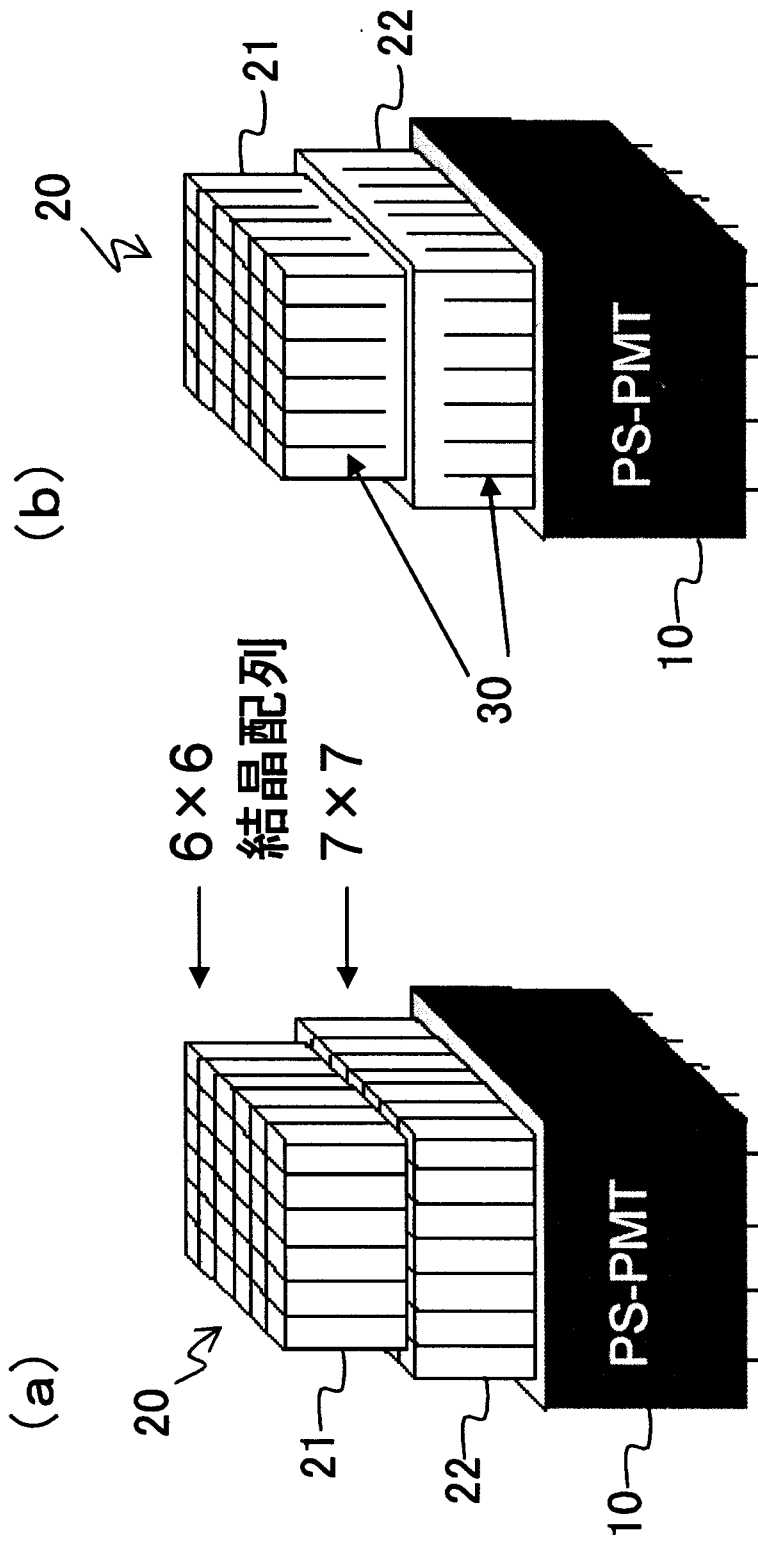


[図2]

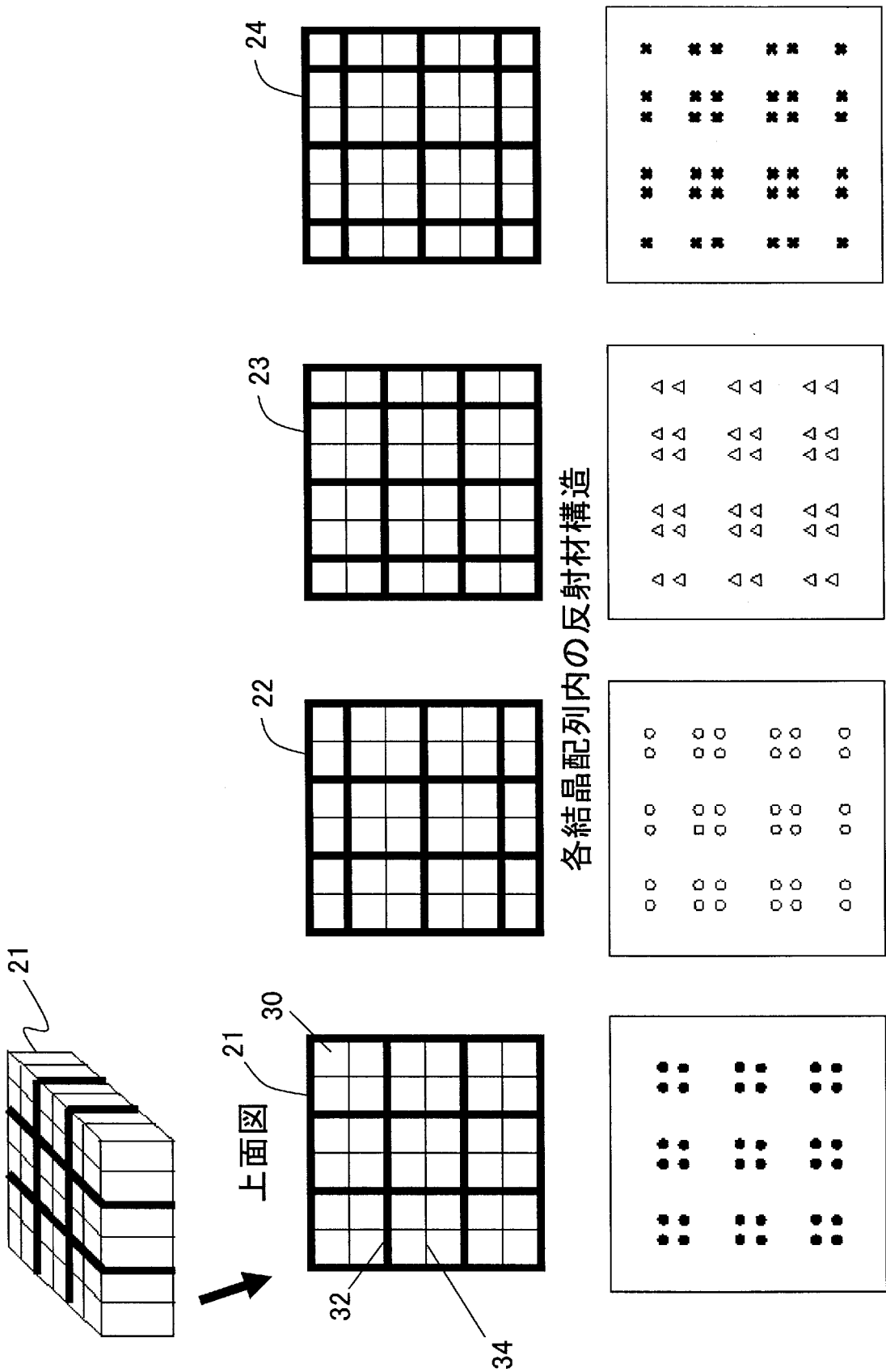


2D 位置ヒストグラム  
(結晶応答)

[図3]



[図4]

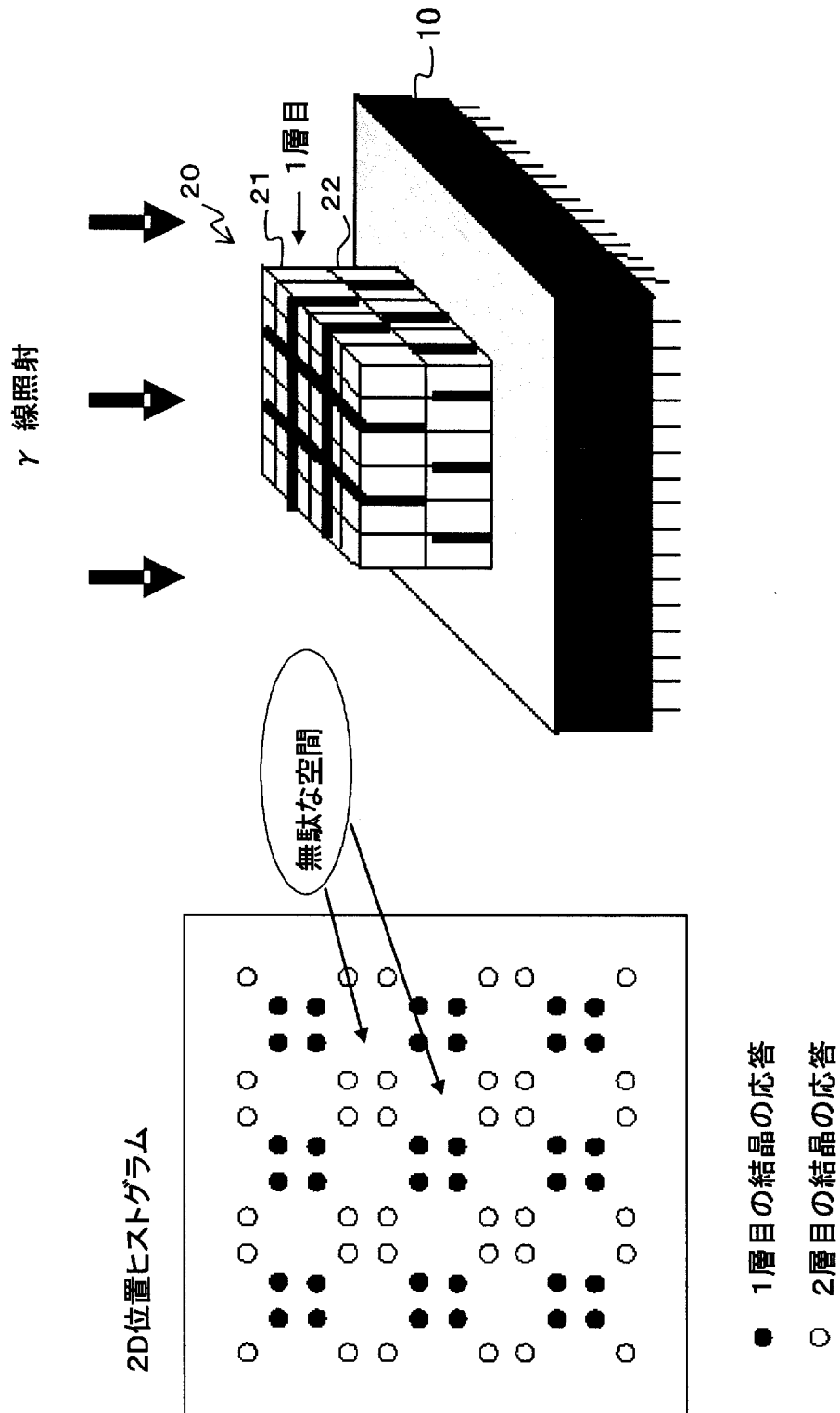


各結晶配列内の反射材構造

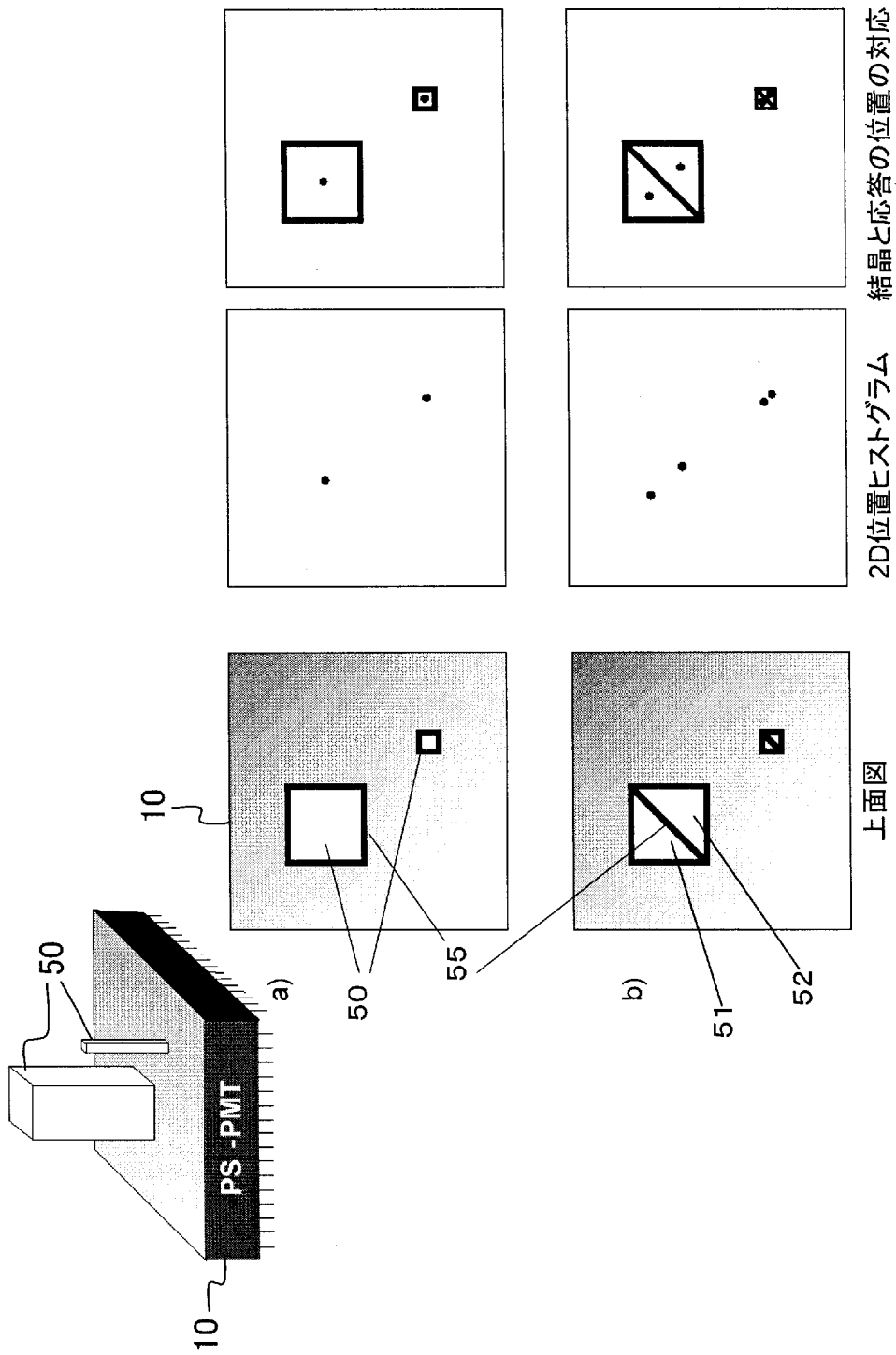
2D 位置ヒストグラム (結晶応答)



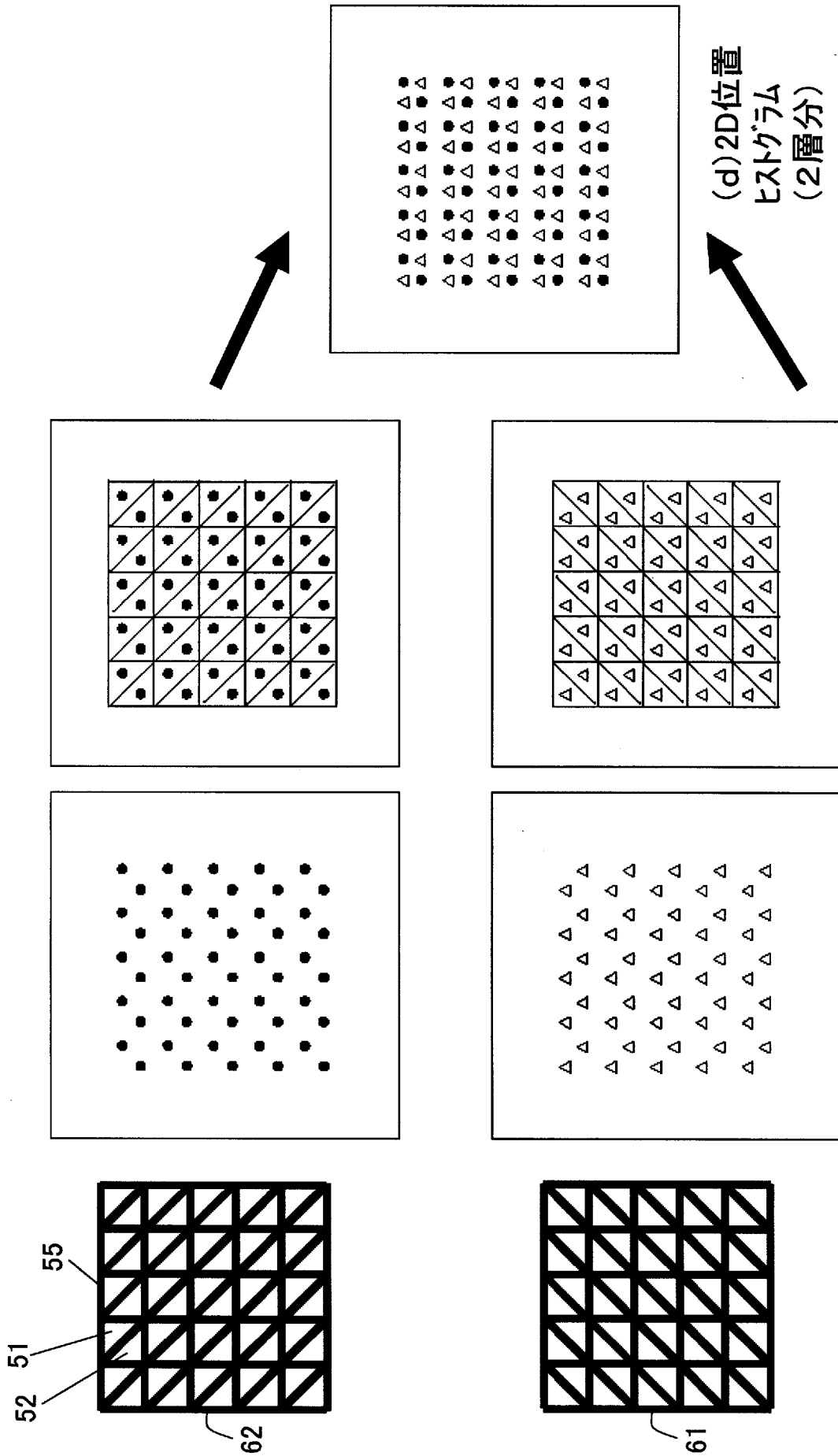
[図6]



[図7]



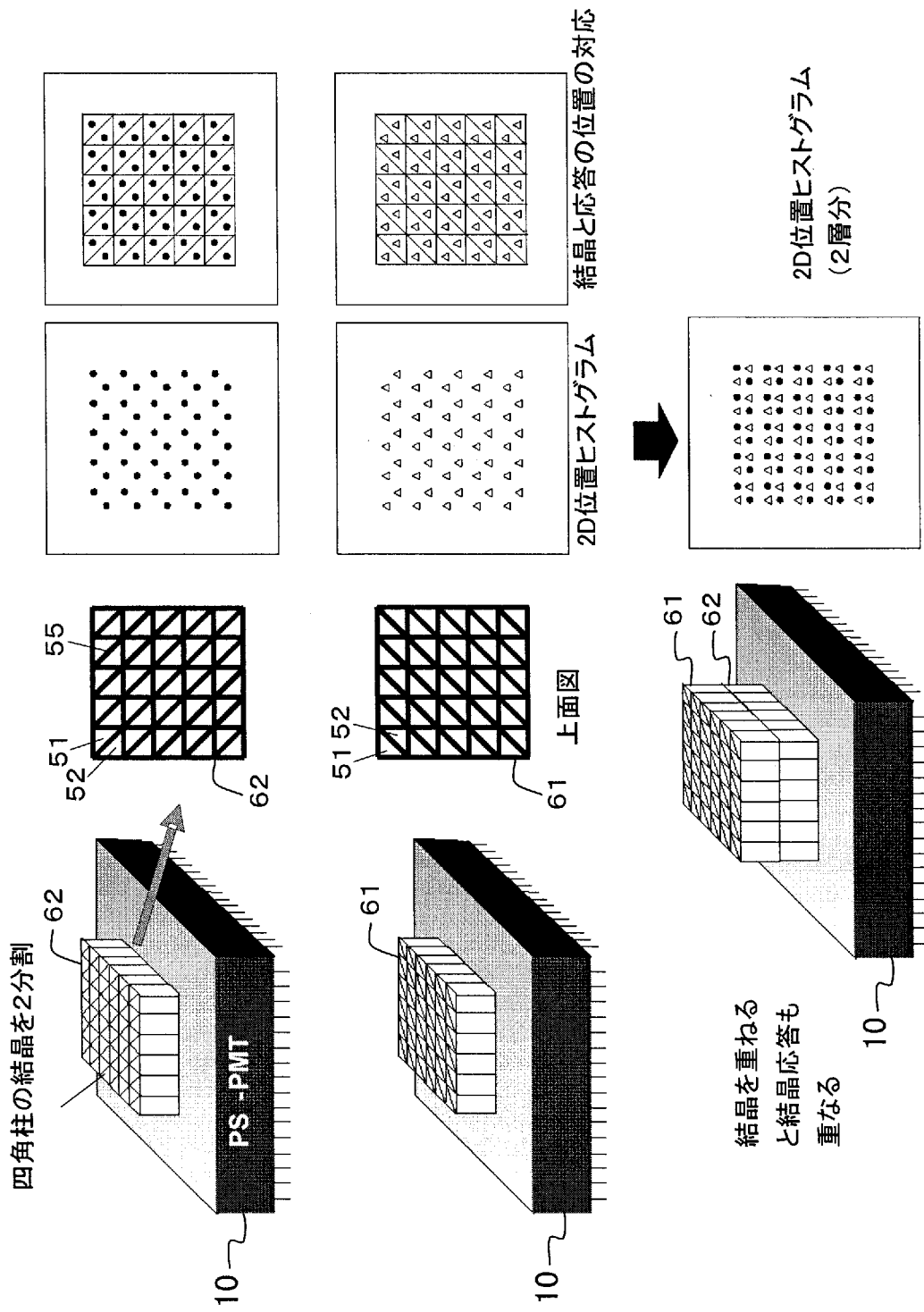
[図8]



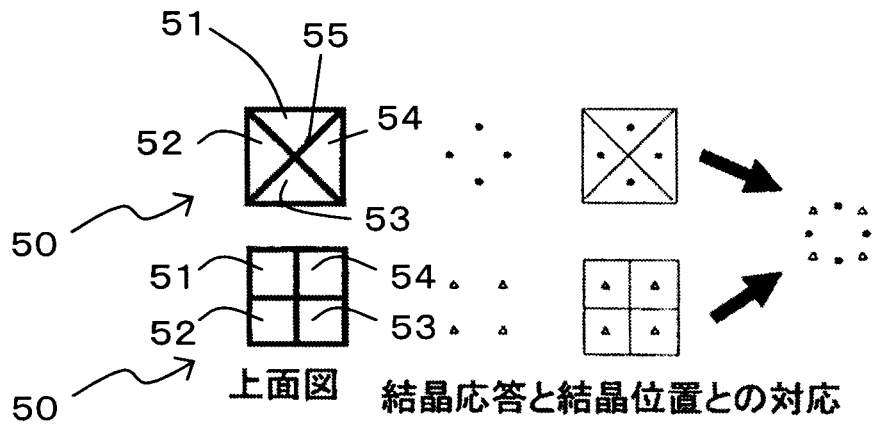
(a) 上面図 (b) 2D 位置ヒストグラム (c) 結晶と応答の位置の対応 (d) 2D位置ヒストグラム (2層分)



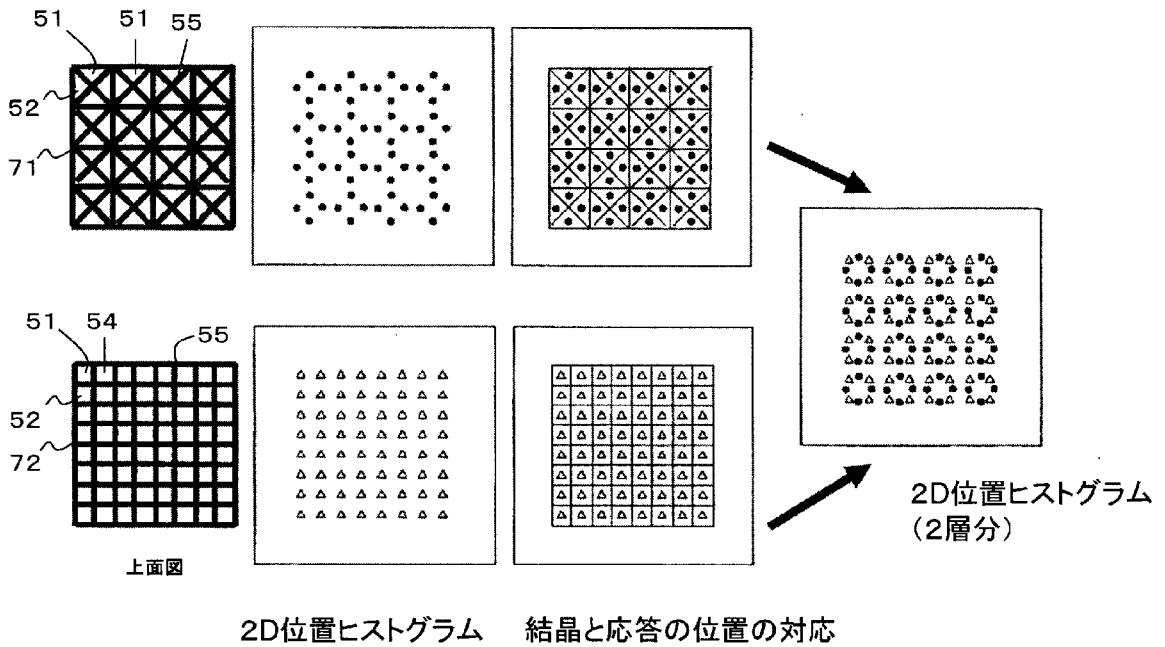
[図9]



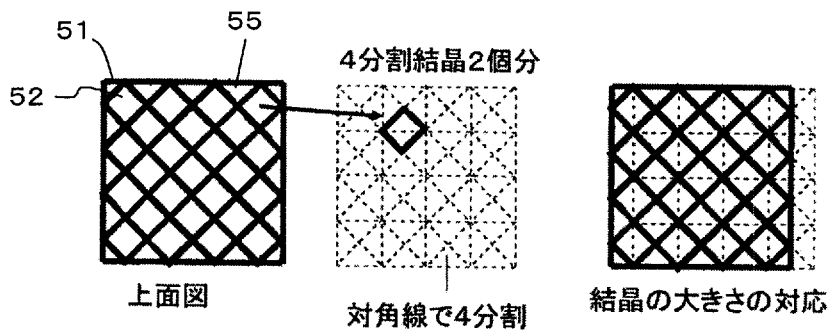
[図10]



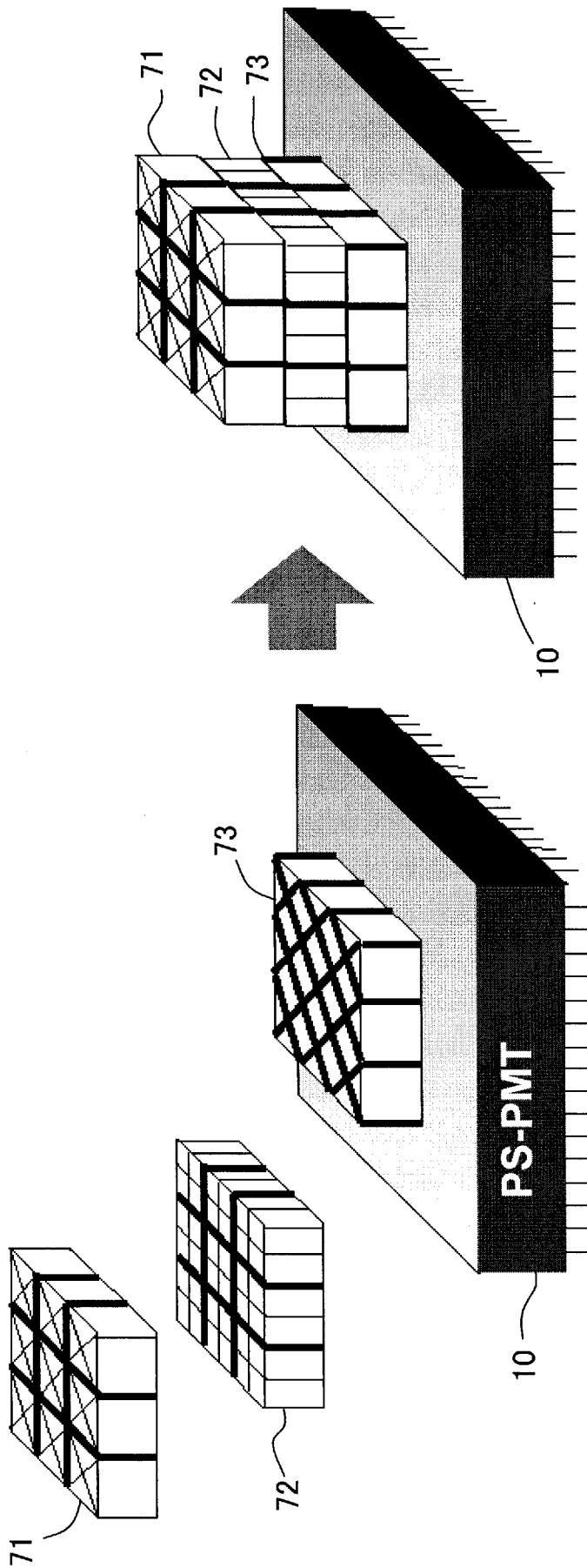
[図11]



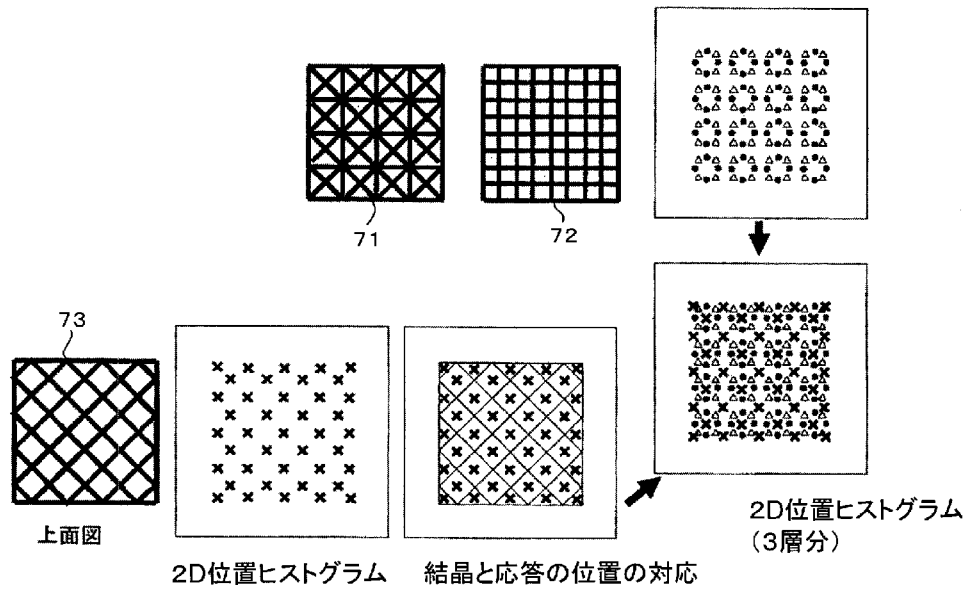
[図12]



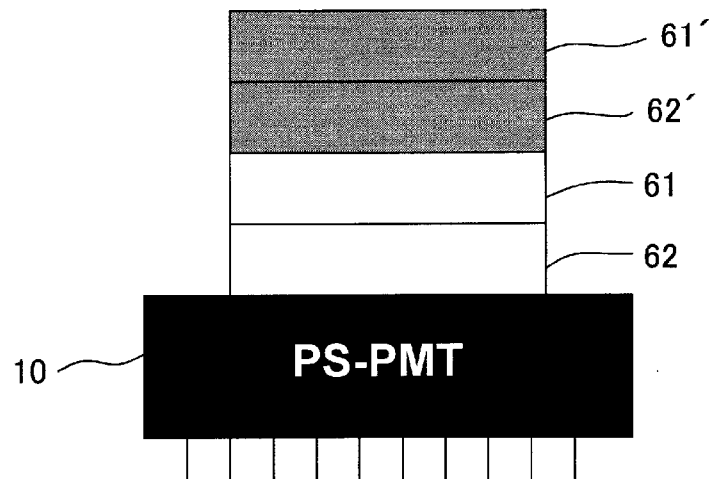
[図13]



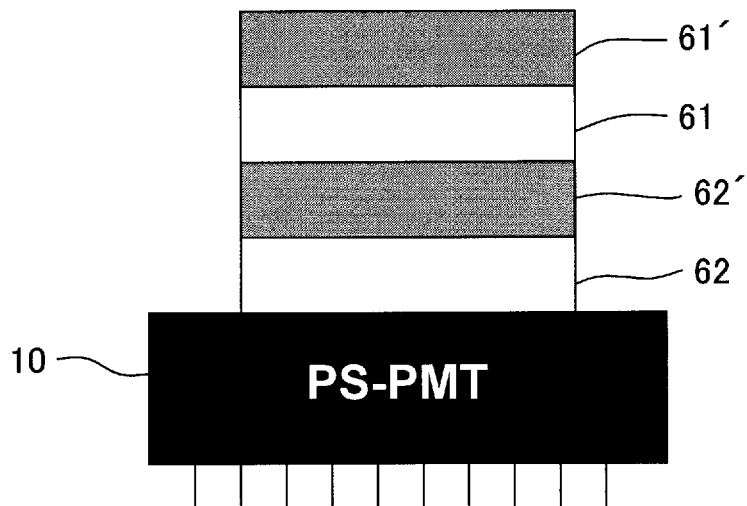
[図14]



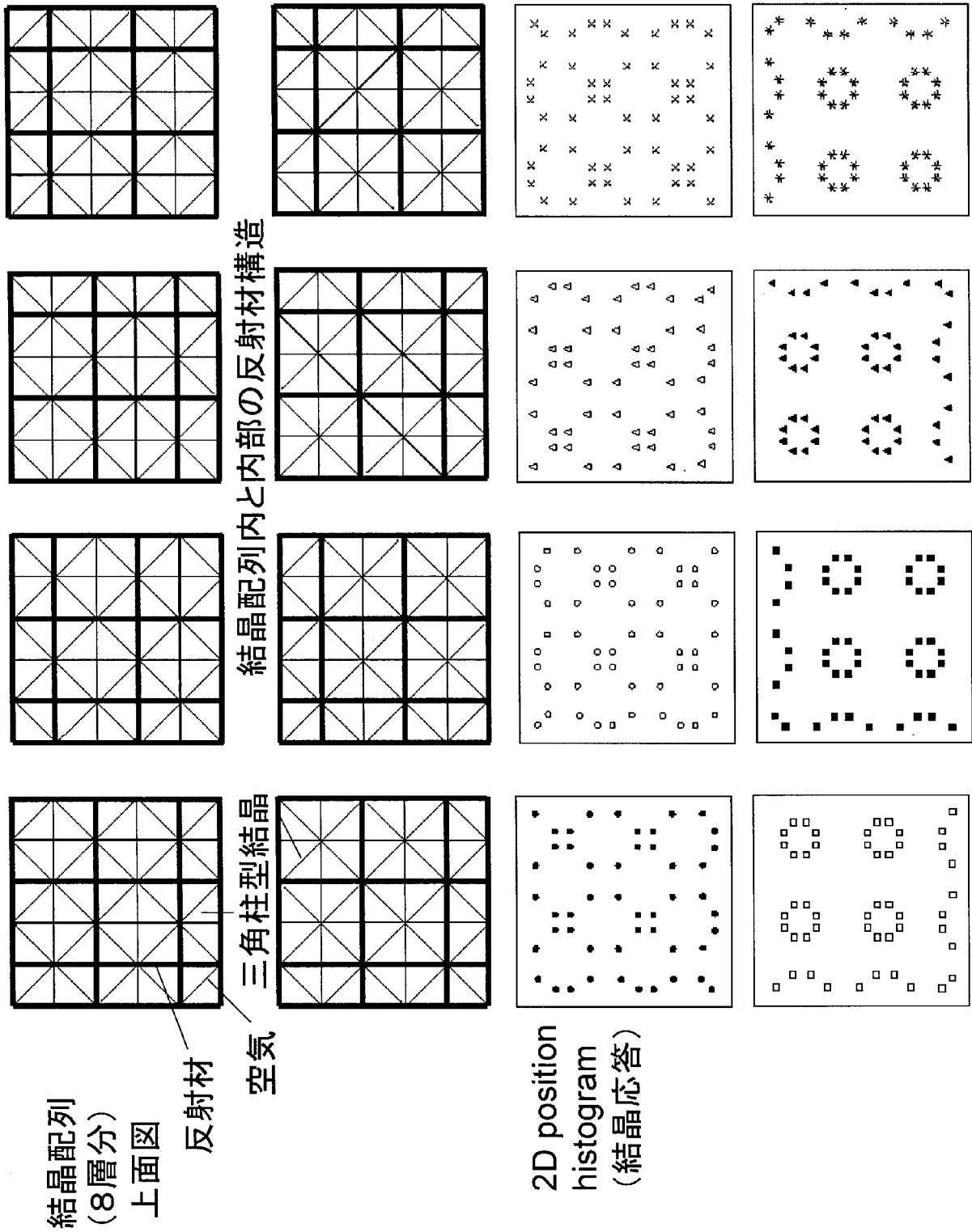
[図15]



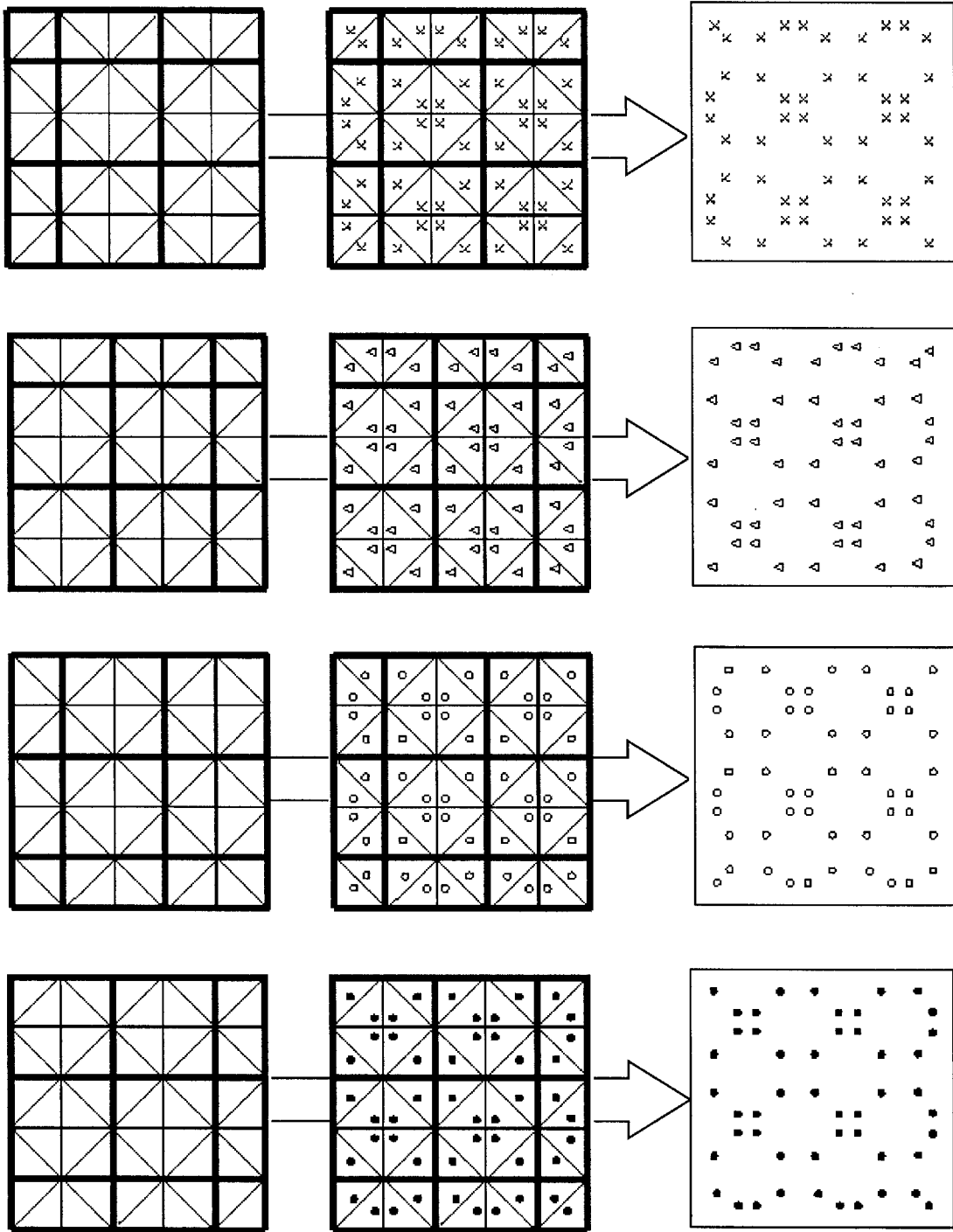
[図16]



[図17]



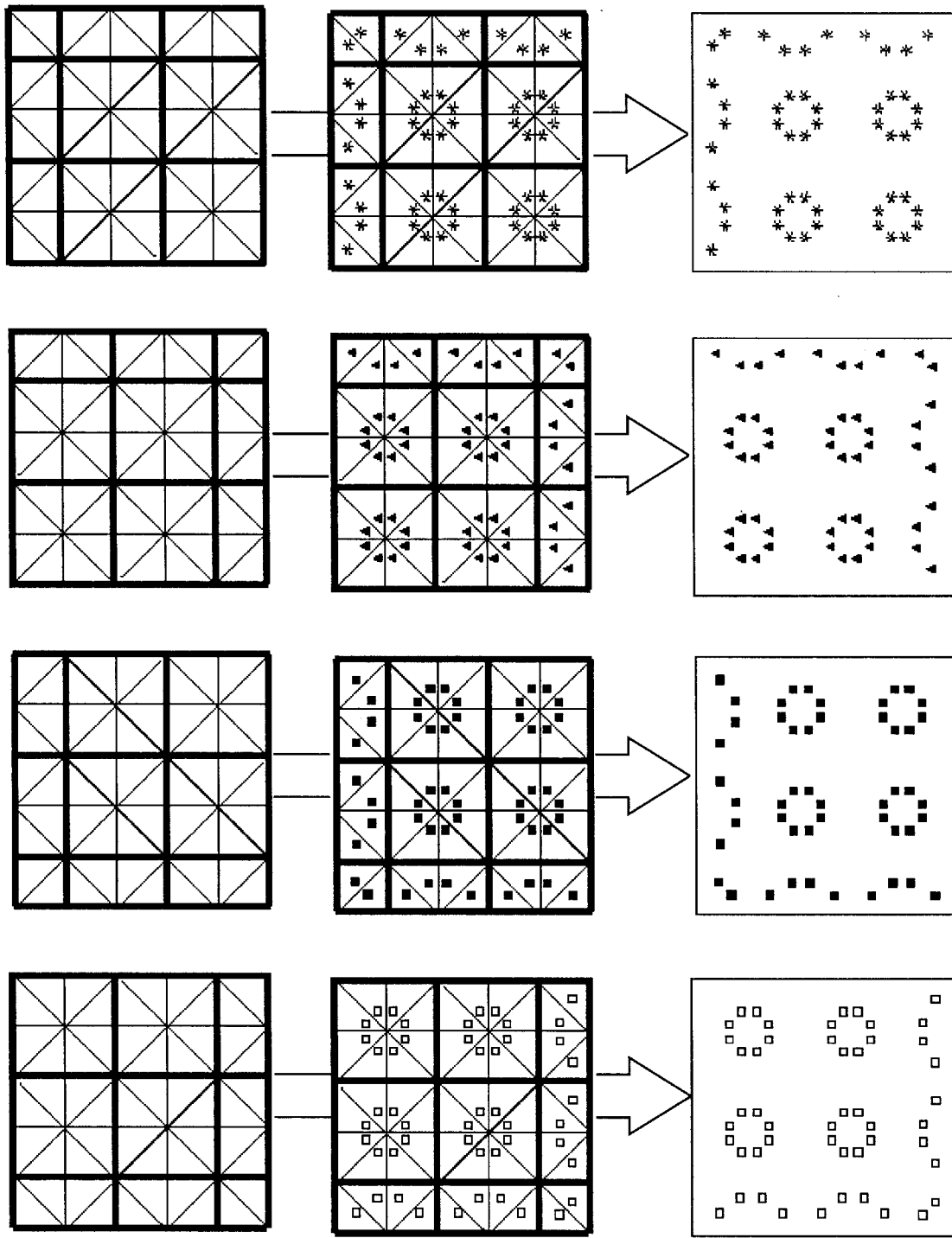
[図18]



結晶と応答の位置の対応

2D position histogram (結晶応答)

[図19]

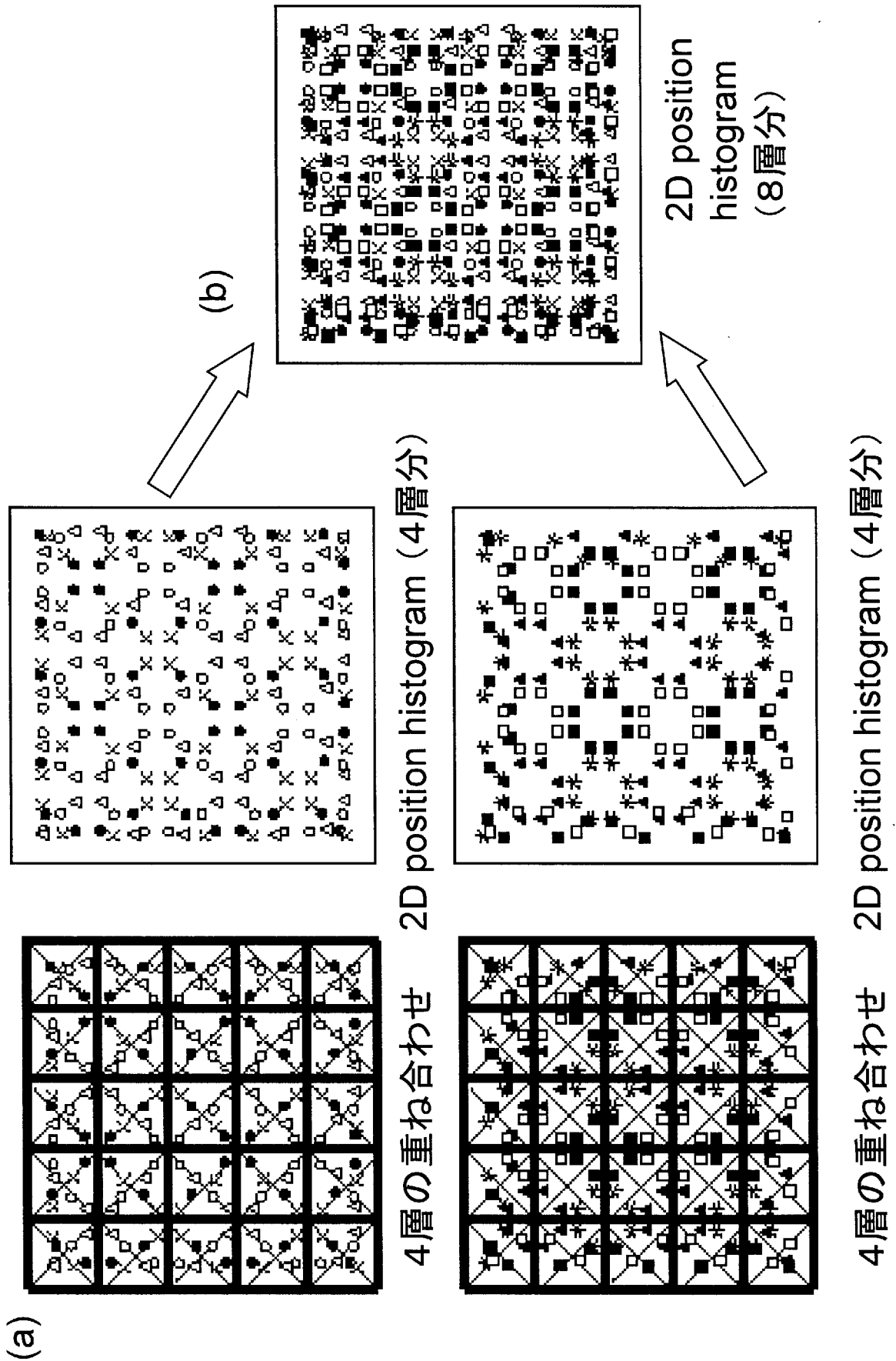


結晶と応答の位置の対応

2D position histogram (結晶応答)



[図20]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2008/068279

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G01T1/161(2006.01)i, G01T1/20(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)  
G01T1/161, G01T1/20

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	"Sankakuchugata Kessho o Mochiita PET-yo DOI Kenshutsuki no Teian", Japanese Journal of Nuclear Medicine, Vol.45, No.3, Japanese Society of Nuclear Medicine, 30 September, 2008 (30.09.08), page S215	1 2, 4, 5, 14, 15
X A	"Sankakuchugata Kessho o Mochiita PET-yo DOI Kenshutsuki no Kiso Kenkyu", Extended abstracts; the Japan Society of Applied Physics, Vol.69, No.1, The Japan Society of Applied Physics, 02 September, 2008 (02.09.08), page 117	1 2, 4, 5, 14, 15
A	JP 8-5746 A (Shimadzu Corp.), 12 January, 1996 (12.01.96), (Family: none)	1, 2, 4, 5, 14, 15

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 16 January, 2009 (16.01.09)	Date of mailing of the international search report 27 January, 2009 (27.01.09)
------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/068279

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-21682 A (National Institute of Radiological Sciences), 24 January, 2003 (24.01.03), Fig. 8 & WO 2003/7019 A1	1, 2, 4, 5, 14, 15
A	JP 2002-90458 A (Shimadzu Corp.), 27 March, 2002 (27.03.02), (Family: none)	1, 2, 4, 5, 14, 15
A	JP 2007-147598 A (General Electric Co.), 14 June, 2007 (14.06.07), & US 7193208 B1	1, 2, 4, 5, 14, 15
A	JP 2007-525652 A (CTI PET Systems, Inc.), 06 September, 2007 (06.09.07), & US 2004/262526 A1 & WO 2004/109870 A2	1, 2, 4, 5, 14, 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP2008/068279

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
- 2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
- 3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:  
Since a feature described in claim 1 is disclosed in "Sankakuchugata Kessho o Mochiita PET-yo DOI Kenshutsuki no Teian", Japanese Journal of Nuclear Medicine, Vol.45, No.3, Japanese Society of Nuclear Medicine, 30 September, 2008 (30.09.08), p.S215, the feature is not novel. As a result, since a series of claims dependent on the main invention (claims 1 and 2; a portion of claim 4 sharing the structure of claim 2; a portion of claim 5 sharing the structures of claims 2 and 4; a portion of claim 14 sharing the structures of claims 2, 4 and 5; and a portion of claim 15 sharing the structures of claims 2, 4, 5 and 14) is in one section, while claim3, claim 4, claim 5, claim 6, claim 7, claim 9, claim 11, claim 14, and (continued to extra sheet)

- 1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
- 4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1, 2, 4, 5, 14 and 15.

**Remark on Protest**

the  The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2008/068279

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

claim 15 which have tentative common technical features are in another section, ten inventions are deemed to be described in the claims of this application. Therefore, claims 1-15 do not comply with the requirement of unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01T1/161(2006.01)i, G01T1/20(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 (IPC)) Int.Cl. G01T1/161, G01T1/20											
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2009年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2009年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2009年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2009年	日本国実用新案登録公報	1996-2009年	日本国登録実用新案公報	1994-2009年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2009年										
日本国実用新案登録公報	1996-2009年										
日本国登録実用新案公報	1994-2009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)											
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 請求の範囲の番号									
X A	三角柱型結晶を用いたPET用DOI検出器の提案, 核医学, 第4 5巻第3号, 日本核医学会, 2008.09.30, p. S215	1 2, 4, 5, 14, 15									
X A	三角柱型結晶を用いたPET用DOI検出器の基礎研究, 応用物理 学会学術講演会講演予稿集, 第69巻第1号, 応用物理学会, 2008.09.02, p. 117	1 2, 4, 5, 14, 15									
A	JP 8-5746 A (株式会社島津製作所) 1996.01.12, (ファミリーなし)	1, 2, 4, 5, 14, 15									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> 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 16.01.2009		国際調査報告の発送日 27.01.2009									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 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) 小田倉 直人 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2Q 9163								

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 請求の範囲の番号
A	JP 2003-21682 A (独立行政法人放射線医学総合研究所) 2003.01.24, 【図8】 & WO 2003/7019 A1	1, 2, 4, 5, 14, 15
A	JP 2002-90458 A (株式会社島津製作所) 2002.03.27, (ファミリーなし)	1, 2, 4, 5, 14, 15
A	JP 2007-147598 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー) 2007.06.14, & US 7193208 B1	1, 2, 4, 5, 14, 15
A	JP 2007-525652 A (シーティーアイ ペット システムズ インコーポレイテッド) 2007.09.06, & US 2004/262526 A1 & WO 2004/109870 A2	1, 2, 4, 5, 14, 15

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1に記載の事項は、三角柱型結晶を用いたPET用DOI検出器の提案、核医学、第45巻第3号、日本核医学会、2008.09.30、p. S215に開示されているから、新規なものではない。その結果、主発明の従属系列（請求の範囲1、2、請求の範囲4のうち請求の範囲2の構成を共有する部分、請求の範囲5のうち請求の範囲2及び4の構成を共有する部分、請求の範囲14のうち請求の範囲2、4及び5の構成を共有する部分、請求の範囲15のうち請求の範囲2、4、5及び14の構成を共有する部分）を区分し、一方、当座の技術的特徴を共通にする、請求の範囲3と、請求の範囲4と、請求の範囲5と、請求の範囲6と、請求の範囲7と、請求の範囲9と、請求の範囲11と、請求の範囲14と、請求の範囲15とを、それぞれ別の区分とするから、本願の請求の範囲には10の発明が記載されているものと認められる。よって請求の範囲1-15は発明の単一性の要件を満たしていない。

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲1、2、4、5、14、15

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。