

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 中性子検出素子(100)は、中性子を検出して電気信号に変換する中性子検出部と、中性子検出部の出力を増幅する増幅部とを備え、中性子検出部は、第1導電型の半導体層と、半導体層に形成された第2導電型の検出部拡散層と、検出部拡散層の上に形成された中性子を α 線に変換する中性子変換層とを有し、増幅部は、半導体層に形成された複数のトランジスタとを有し、中性子変換層は、ホウ素10を含む層又はリチウム6を含む層を有する金属膜である。

明 細 書

発明の名称：中性子検出素子

技術分野

[0001] 本開示は、中性子検出素子及び中性子２次元センサに関する。

背景技術

[0002] 中性子は、電荷を持たない粒子であり、様々な物質を通り抜ける性質を有している。このため、物質内部を観察する中性子ラジオグラフィに用いられる。中性子を内部観察や治療に用いる場合、透過した中性子を検出することが重要である。

[0003] また、ホウ素中性子捕捉療法（BNCT：Boron Neutron Capture Therapy）のように中性子を癌の治療に用いることも研究されている。このような場合においても、照射された中性子がどのように吸収されているかを検出することは重要である。

[0004] 中性子の検出にはガス放電方式、シンチレーション方式及びイメージングプレート方式等が知られている。近年では、半導体による中性子検出素子も検討されている（例えば、特許文献１を参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献１：特開２０１２－１８１０６５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 従来の半導体による中性子検出素子は、中性子から荷電粒子を発生させ、発生した荷電粒子を検出している。中性子から荷電粒子を発生させる際には、中性子をホウ素１０（ ^{10}B ）等に入射させて、ヘリウム核（ α 線）及びリチウム核（ Li 粒子線）を生成させる。 α 線及び Li 粒子線が空乏層に入射することにより電子－正孔対が発生するので、発生した電子－正孔対による電流を測定することにより、中性子を検出することができる。しかし、中性子

を ^{10}B に入射させた場合には、 α 線と Li 粒子線とが互いに反対方向に放出されるため、空乏層には α 線が入射したり Li 粒子線が入射したりすることになる。 α 線が入射した場合と Li 粒子線が入射した場合とでは空乏層において発生する電荷量が異なるため、入射する荷電粒子線によって検出器の出力が変動することになる。

[0007] 本開示の課題は、出力変動が生じにくい半導体による中性子検出素子を実現できるようにすることである。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の中性子検出素子の一態様は、中性子を検出して電気信号に変換する中性子検出部と、中性子検出部の出力を増幅する増幅部とを備え、中性子検出部は、第1導電型の半導体層と、半導体層に形成された第2導電型の検出部拡散層と、検出部拡散層の上に形成された中性子を α 線に変換する中性子変換層とを有し、増幅部は、半導体層に形成された複数のトランジスタとを有し、中性子変換層は、ホウ素10を含む層又はリチウム6を含む層を有する金属膜である。

発明の効果

[0009] 本開示の中性子検出素子によれば、 α 線のみを半導体層に入射させることができ、出力変動を生じにくくすることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]一実施形態に係る中性子検出素子を示す回路図である。

[図2]一実施形態に係る中性子検出素子を示す断面図である。

[図3A]一実施形態に係る中性子検出素子の一製造工程を示す断面図である。

[図3B]一実施形態に係る中性子検出素子の一製造工程を示す断面図である。

[図3C]一実施形態に係る中性子検出素子の一製造工程を示す断面図である。

[図3D]一実施形態に係る中性子検出素子の一製造工程を示す断面図である。

[図3E]一実施形態に係る中性子検出素子の一製造工程を示す断面図である。

[図4]一実施形態に係る中性子2次元センサを示す平面図である。

[図5]変形例に係る中性子検出素子を示す断面図である。

発明を実施するための形態

- [0011] 図1に示すように、一実施形態に係る中性子検出素子100は、中性子を検出して電気信号に変換する中性子検出部101と、中性子検出部の出力を増幅する増幅部102とを有している。増幅部102は、リセットトランジスタ(RST)、ソースフォロアトランジスタ(SF)、行選択トランジスタ(RS)を有している。 ϕR にリセット信号、 ϕX に行選択信号を加えることにより中性子検出素子として駆動することができる。
- [0012] 図2に示すように、中性子検出部101及び増幅部102は、n型の半導体基板111の上に形成されたp型の半導体層112に形成されている。本実施形態において、半導体基板111及び半導体層112は、炭化珪素(SiC)からなる。
- [0013] 半導体層112には、n⁺型の検出部拡散層113及びソースドレイン拡散層121と、p⁺型の電位安定化領域114とが形成されている。半導体層112の上にはゲート絶縁膜123が形成されており、ゲート絶縁膜123の上の所定の領域にはゲート電極124が形成されている。また、電位安定化領域114とオーミック接触したオーミック電極117と、ソースドレイン拡散層121とオーミック接触したソースドレイン電極122とが形成されている。オーミック電極117及びソースドレイン電極122は、拡散層とオーミック接触するシリサイド層141とシリサイド層141を覆う金属電極層142とにより形成されている。
- [0014] 半導体層112上には、各電極を覆うように層間絶縁膜133が形成されており、層間絶縁膜133の上には、中性子変換層115及び配線135及び配線136が形成されている。これにより、中性子検出部101及び増幅部102は、リセットトランジスタ(RST)、ソースフォロアトランジスタ(SF)、行選択トランジスタ(RS)を有する増幅部102が形成されている。本実施形態において、リセットトランジスタ(RST)のソースドレイン拡散層の一方は、検出部拡散層113と一体に形成されている。
- [0015] 半導体基板111の裏面には、裏面電極126が設けられている。裏面電

極 1 2 6 は半導体基板 1 1 1 の裏面とオーミック接触したオーミック電極であり、ニオブーニッケルシリサイド等により形成することができる。裏面電極 1 2 6 は、半導体基板 1 1 1 中に発生した電子・正孔キャリアを速やかに排出し、デバイス動作を安定化させる効果を生じる。

[0016] 中性子変換層 1 1 5 は、変換機能層であるホウ素の同位体であるホウ素 1 0 (^{10}B) を含む ^{10}B 含有層 1 1 5 Aを有する金属膜である。 ^{10}B 含有層 1 1 5 Aは、例えば ^{10}B をイオン注入して形成したり、スパッタ法又は蒸着法等により ^{10}B を堆積させて形成したりすることができる。なお、変換機能層は、 ^{10}B 含有層に代えてリチウムの同位体であるリチウム 6 (^6Li) を含む層とすることもできる。

[0017] 本実施形態において、 ^{10}B 含有層 1 1 5 Aの下側に下側金属層 1 1 5 Bが存在し上側に上側金属層 1 1 5 Cが存在しているが、上側金属層 1 1 5 Cはなくてもよい。下側金属層 1 1 5 B及び上側金属層 1 1 5 Cは、 α 線及び Li 線のすり抜けを生じにくくする観点から比較的原子番号が大きい金属が好ましい。例えば、アルミニウム (Al)、タングステン (W) 及びモリブデン (Mo) 等とすることができる。中でも Al は、 Al 配線と同様の方法で形成することができるので好ましい。

[0018] 中性子変換層 1 1 5 に入射した中性子は、 ^{10}B と反応して α 線及び Li 粒子線を発生させる。 Al 等からなる下側金属層 1 1 5 B中において Li 粒子線は α 線よりも減衰しやすく、 α 線のみが下側金属層 1 1 5 Bを通過して検出部拡散層 1 1 3 に入射し、 n^+ 型の検出部拡散層 1 1 3 と p 型の半導体層 1 1 2 との PN 接合近傍の空乏層に電子－正孔対を発生させる。発生した電子－正孔対の負電荷（電子）は、 n^+ 型の検出部拡散層 1 1 3 に移動する。この電荷は配線 1 3 5 及び 1 3 6 を通して、 SF トランジスタのゲート電極に蓄積され、このゲート電極の電位を変化させる。

[0019] さらに、本実施形態においては、 p 型の半導体層 1 1 2 の下に n 型の半導体基板 1 1 1 存在しているため、寄生バイポーラジャンクショントランジスタ (BJT) が形成されている。空乏層に発生した電子－正孔対からの正電

荷（正孔）は、寄生BJTのベース部分に注入され、一時的にこの寄生BJTはオン状態となり、半導体基板111からベース部を通して検出部拡散層113に電子が移動する。この電子は上記の空乏層中で発生した電子－正孔対の電子と同様、配線135及び135を通して、SFトランジスタのゲート電極に蓄積され、このゲート電極の電位を更に変化させる。この際、半導体基板111の裏面電極126に負の電圧を印可すると、より寄生BJTによる増幅効果が増大し、すなわち半導体基板111から検出部拡散層113へ注入される電子の数を増やすことができる。寄生BJTがあることでセンサを高感度化することができる。但し、寄生BJTは必ずしも必要ではなく、検出部拡散層113のみでも、本センサは動作する。

[0020] SFトランジスタのゲート電極に蓄積された電荷は、このゲート電極の電位を変化させ、この結果、RSトランジスタをオンしたのち、SFトランジスタのゲート電極の電位に応じて、出力電圧が変化する。この電位を計測することにより、センサに入射した中性子数を計測することが可能になる。

[0021] 本実施形態において検出部拡散層113は、リセットトランジスタ（RST）のソースドレイン拡散層と一体になっており、検出部拡散層113に移動した負電荷は、増幅部102により読み出され、中性子変換層115へ入射した中性子のエネルギーに応じた信号が得られる。一方、正電荷（正孔）は電位安定化領域114を介して排出される。寄生BJTが形成されることにより中性子の検出感度が向上するが、寄生BJTが形成されないような構成とすることもできる。

[0022] 本実施形態の中性子検出素子100は、中性子変換層115に入射した中性子により発生した α 線とLi粒子線のうち α 線のみを用いて中性子の検出を行う。このため、中性子の定量性を向上させることができる。

[0023] 本実施形態において、中性子変換層115は、検出部拡散層113の直上にのみ形成されており、増幅部102を構成するトランジスタ等の上には形成されていない。中性子変換層115は、検出部拡散層113の直上にのみ形成することにより、中性子変換層115から放出された α 線が、半導体層

112の検出部拡散層113以外の部分に入射しにくくし、誤動作を生じにくくすることができる。検出部拡散層113の直上とは、平面視において検出部拡散層113と重なる部分であるが、検出部拡散層113と中性子変換層115とが完全に重なっていなくてもよい。なお、中性子変換層115が検出部拡散層113の直上以外の部分に形成されている構成とすることもできる。

[0024] 本実施形態の炭化珪素受光素子は、例えば以下のように形成することができる。まず、図3Aに示すように、n型の半導体基板111の上にp型の半導体層112をエピタキシャル成長させる。続いて、第1のイオン注入マスクを用いてn型不純物を半導体層112に選択的に注入してn⁺型の検出部拡散層113及びソースドレイン拡散層121を形成する。さらに、第2のイオン注入マスクを用いてp⁺型の電位安定化領域114を形成する。この後、活性化アニールを行う。

[0025] 半導体基板111は特に限定されないが、4H-SiCとすることができる。半導体層112の厚さは例えば1μm～5μm程度とすることができる。第1のイオン注入マスク及び第2のイオン注入マスクは、例えば酸化シリコン(SiO₂)膜により形成することができる。活性化アニールは、SiC半導体の場合はイオン注入を行った半導体層112をカーボンキャップ膜で覆った後で1700℃程度の熱処理を行えばよい。

[0026] 次に、図3Bに示すように、熱酸化を行い、厚さが20nm程度のゲート絶縁膜123を形成した後、オーミック電極117、ソースドレイン電極122、ゲート電極124及び裏面電極126を形成する。オーミック電極117及びソースドレイン電極122は、例えばシリサイド層141と金属電極層142とにより形成することができる。シリサイド層141は、例えばレジストマスクを用いたリフトオフの手法により、シリサイド層141となる金属膜を選択的に形成した後、熱処理によりシリサイド化して形成することができる。この場合の金属膜は、例えばニオブーニッケル膜とすることができるが、ニッケル－モリブデン合金膜等の他のシリサイドを形成する金属

により形成することもできる。金属電極層 1 4 2 は、シリサイド層 1 4 1 を覆うように A 1 等からなる金属膜を形成して選択的にエッチング除去することにより形成することができる。金属電極層 1 4 2 とゲート電極 1 2 4 とは、同じプロセスにより形成することができる。金属電極層 1 4 2 及びゲート電極 1 2 4 は、窒化チタン又ポリシリコン等により形成することもできる。裏面電極 1 2 6 は、半導体基板 1 1 1 の裏面にニオブーニッケル膜等の金属膜を形成した後シリサイド化して形成すればよい。

[0027] 次に、図 3 C に示すように、半導体基板 1 1 1 上の全面に酸化シリコン等からなる層間絶縁膜 1 3 3 を形成し、層間絶縁膜 1 3 3 の上に下側金属層 1 1 5 B を形成する。層間絶縁膜 1 3 3 の厚さは、中性子変換層 1 1 5 から放出された α 線の検出部拡散層 1 1 3 への入射に影響を与えるが、例えば $1 \mu\text{m}$ 程度とすることができる。この後、下側金属層 1 1 5 B に ^{10}B をイオン注入して、不純物拡散層である ^{10}B 含有層 1 1 5 A を形成する。下側金属層 1 1 5 B は、 Li 粒子線を減衰させる金属層であればよく、アルミニウム、タングステン、及びモリブデン等により形成することができる。 ^{10}B 含有層 1 1 5 A は、イオン注入法に限らず、スパッタ法又は蒸着法等により ^{10}B を堆積させて形成することができる。下側金属層 1 1 5 B の厚さは、 Li 粒子線は透過せず α 線は透過する厚さとする。用いる金属の種類に応じて厚さは適宜決定すればよいが、例えばアルミニウムの場合には $2 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ 程度、タングステンの場合には $0.4 \mu\text{m}$ 程度とすることができる。 ^{10}B 含有層 1 1 5 A をイオン注入により形成する場合には、注入量は $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 程度 $\sim 4 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 程度とすることができる。上側金属層 1 1 5 C の厚さは特に限定されないが、例えばアルミニウムの場合は $10 \text{nm} \sim 1000 \text{nm}$ 程度とすることができる。なお、 ^6Li 含有層も同様にして形成することもできる。

[0028] 次に、図 3 D に示すように、 ^{10}B 含有層 1 1 5 A を形成した下側金属層 1 1 5 B を検出部拡散層 1 1 3 の直上を除いて選択的に除去する。次に、図 3 E に示すように、上側金属層 1 1 5 C 及び配線 1 3 5 及び配線 1 3 6 を形成する。上側金属層 1 1 5 C と配線 1 3 5 及び配線 1 3 6 とを同じ金属とすれば

、同じプロセスにより形成することができる。

[0029] 本実施形態の中性子検出素子100は、図4に示すようにマトリクス状に配置して、中性子検出素子100を1画素とする中性子2次元センサ200を形成することができる。中性子2次元センサ200を用いることにより、中性子の面における分布を容易に測定することができ、中性子ラジオグラフィやBNCTにおいて、中性子の透過と吸収をリアルタイムで評価することができる。また、本実施形態の中性子検出素子100は定量性に優れているため、中性子の強度分布を精度良く可視化することが可能となる。

[0030] 図5に示すように、中性子変換層115と検出部拡散層113との間に、高密度層151を形成することもできる。高密度層151を形成することにより、検出部拡散層113を突き抜けてしまう α 線を低減することができる。これにより、検出感度をさらに向上させることができる。高密度層151は、半導体層112よりも密度が高い層であればよく、金属を含む層が好ましく、例えば単純な金属層、複数の金属を含む合金層及びシリサイド層等の金属と非金属とを含む層とすることができる。中でも、原子番号14を超える金属を含むことが好ましく、取り扱い性の観点から、ニッケル、ニオブ、チタン、及びコバルト等を含むことがより好ましい。これらの金属はシリサイドを形成しやすいという観点からも好ましい。ソースドレイン電極122と同じシリサイド層により高密度層を形成すれば、工程数を増やすことなく高密度層を形成することができる。この場合、ソースドレイン電極122のシリサイド層141と高密度層151とを一体に形成することができる。

[0031] 高密度層151は、検出部拡散層113と接していることが好ましいが、高密度層151と検出部拡散層113との間に絶縁膜等の他の層が存在する構成とすることもできる。高密度層151は、検出部拡散層113のうちの少なくとも中性子変換層115の直下に形成されていることが好ましい。検出部拡散層113の全体を覆うように形成することも、検出部拡散層113よりも広い領域を覆うように形成することもできる。高密度層115の厚さは特に限定されないが、 α 線が検出部拡散層に達するようにすると共に突き

抜けを防止する観点から、 $0.01\mu\text{m}\sim 0.3\mu\text{m}$ 程度の厚さとすることが好ましい。ソースドレイン電極122のシリサイド層141と同じ工程により高密度層151を形成する場合は、ソースドレイン電極122のシリサイド層141と厚さを合わせることができる。

[0032] 本実施形態において、半導体層112をp型とし、n型のトランジスタを形成した。半導体層112をp型としp⁺型の電位安定化領域114を設けることにより、 α 線により発生した正孔を速やかに排出できるので、検出素子の出力電位を安定化することができる。但し、半導体層112をn型とし、p型の検出部拡散層及びトランジスタを形成することもできる。この場合には、電位安定化領域はn⁺型とすることができる。なお、電位安定化領域は必要に応じて設ければよく、設けなくてもよい。本実施形態において電位安定化領域114は、検出部拡散層113と離間して隣接するように配置されている。このような構成とすることにより、電位を安定化する効果をより大きくすることができる。但し、電位安定化領域114は、検出部拡散層113と同じ半導体層112のいずれにも形成することができる。なお、導電型を示すp又はnの記号に付した+の符号は符号を付していない場合と比べて不純物濃度が高いことを示し、-の符号は符号を付していない場合と比べて不純物濃度が低いことを示す。

[0033] 本実施形態のように、SiC半導体を用いることにより、耐放射線性を向上させることができるので、素子の寿命を大幅に伸ばすことができる。但し、シリコン半導体により素子を形成することもできる。

産業上の利用可能性

[0034] 本開示の中性子検出素子は、出力変動が生じにくく、中性子の定量的な検出が容易であり、中性子を用いた医療分野等において特に有用である。

符号の説明

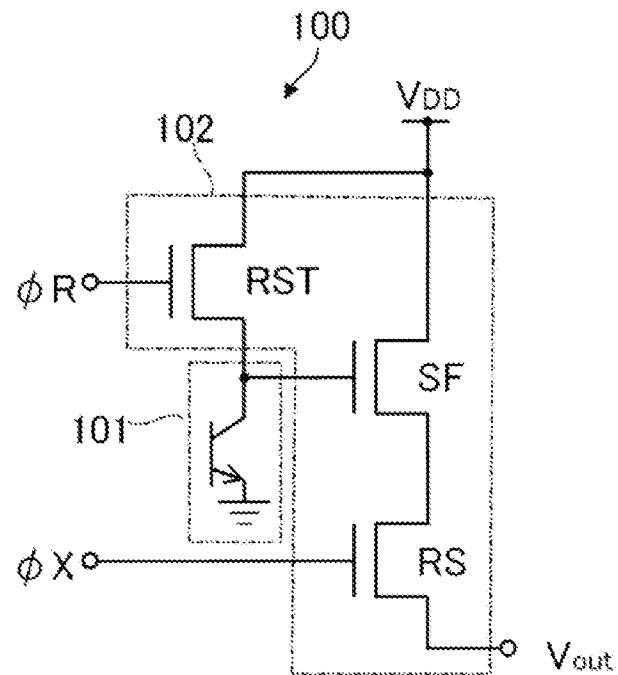
[0035] 100 中性子検出素子
101 中性子検出部
102 増幅部

1 1 1	半導体基板
1 1 2	半導体層
1 1 3	検出部拡散層
1 1 4	電位安定化領域
1 1 5	中性子変換層
1 1 5 A	¹⁰ B含有層
1 1 5 B	下側金属層
1 1 5 C	上側金属層
1 1 7	オーミック電極
1 2 1	ソースドレイン拡散層
1 2 2	ソースドレイン電極
1 2 3	ゲート絶縁膜
1 2 4	ゲート電極
1 2 6	裏面電極
1 3 3	層間絶縁膜
1 3 5	配線
1 3 6	配線
1 4 1	シリサイド層
1 4 2	金属電極層
1 5 1	高密度層
2 0 0	中性子2次元センサ

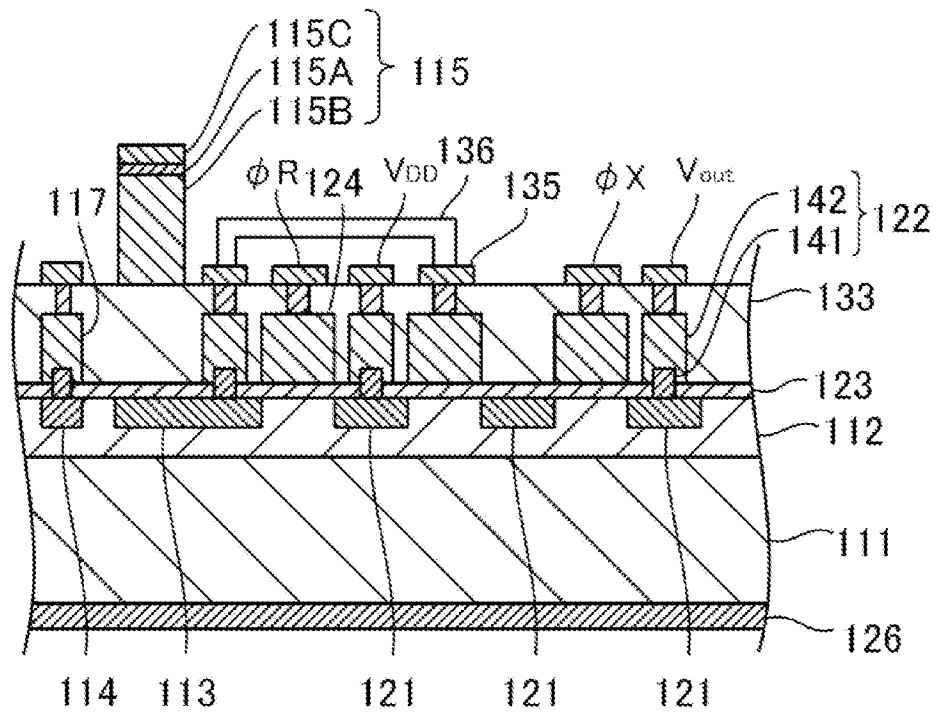
請求の範囲

- [請求項1] 中性子を検出して電気信号に変換する中性子検出部と、
前記中性子検出部の出力を増幅する増幅部とを備え、
前記中性子検出部は、第1導電型の半導体層と、前記半導体層に形成された第2導電型の検出部拡散層と、前記検出部拡散層の上に形成された中性子を α 線に変換する中性子変換層とを有し、
前記増幅部は、前記半導体層に形成された複数のトランジスタとを有し、
前記中性子変換層は、ホウ素10を含む層又はリチウム6を含む層を有する金属膜である、中性子検出素子。
- [請求項2] 前記ホウ素10を含む層又はリチウム6を含む層は、不純物拡散層である、請求項1に記載の中性子検出素子。
- [請求項3] 前記半導体層は、炭化珪素半導体層である、請求項1又は2に記載の中性子検出素子。
- [請求項4] 前記中性子変換層は、前記検出部拡散層の直上に絶縁膜を介して形成されている、請求項1～3のいずれか1項に記載の中性子検出素子。
- [請求項5] 前記中性子変換層と前記検出部拡散層との間に形成され、前記半導体層よりも密度が高い材料により形成された、高密度層を有している、請求項1～4のいずれか1項に記載の中性子検出素子。
- [請求項6] 前記高密度層は、金属シリサイド層である、請求項5に記載の中性子検出素子。
- [請求項7] 前記半導体層に形成され、前記半導体層よりも不純物濃度が高い第1導電型の電位安定化領域を有している、請求項1～6のいずれか1項に記載の中性子検出素子。
- [請求項8] 請求項1～7のいずれか1項に記載の中性子検出素子がマトリクス状に配置された、中性子2次元センサ。

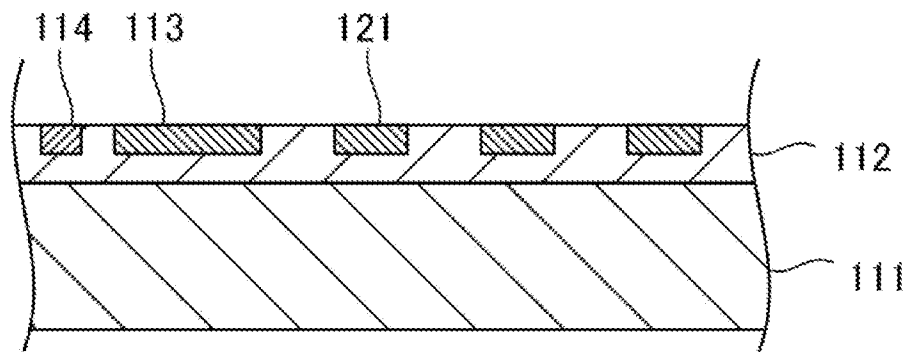
[図1]



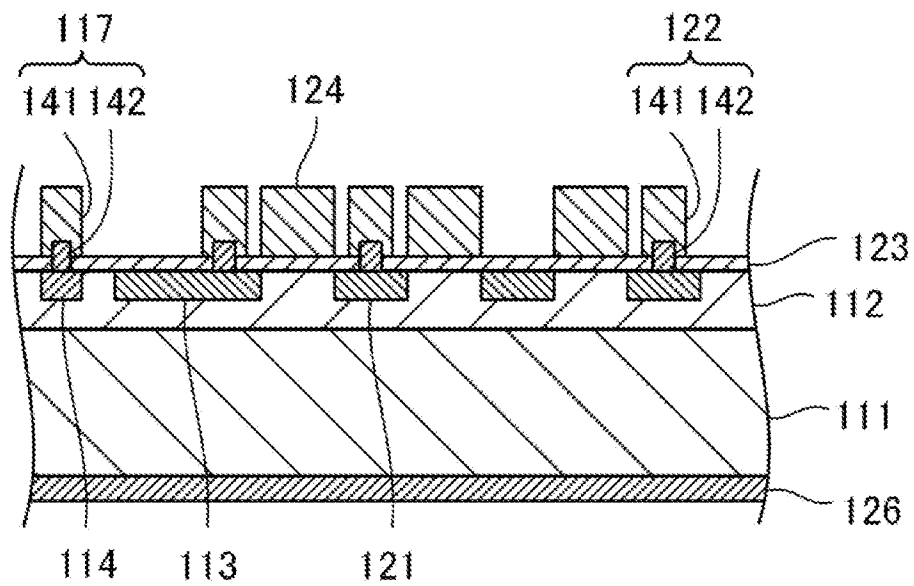
[図2]



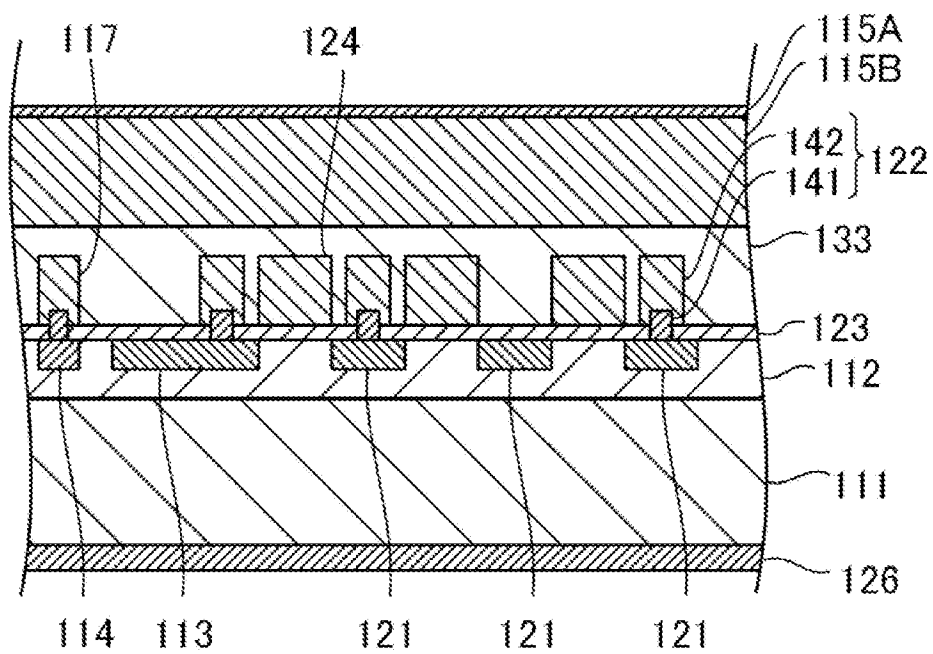
[図3A]



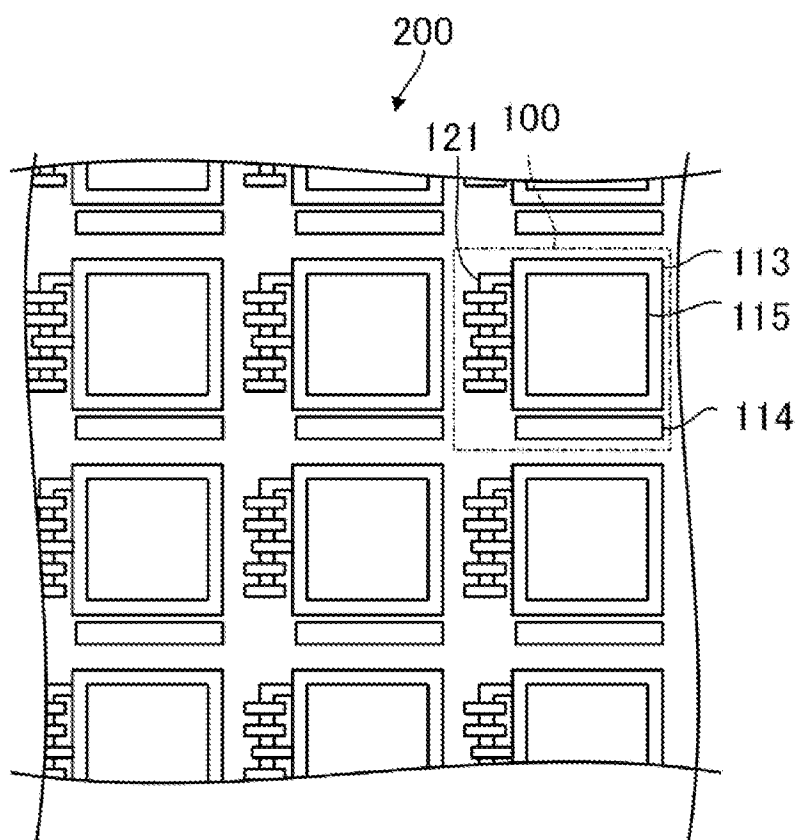
[図3B]



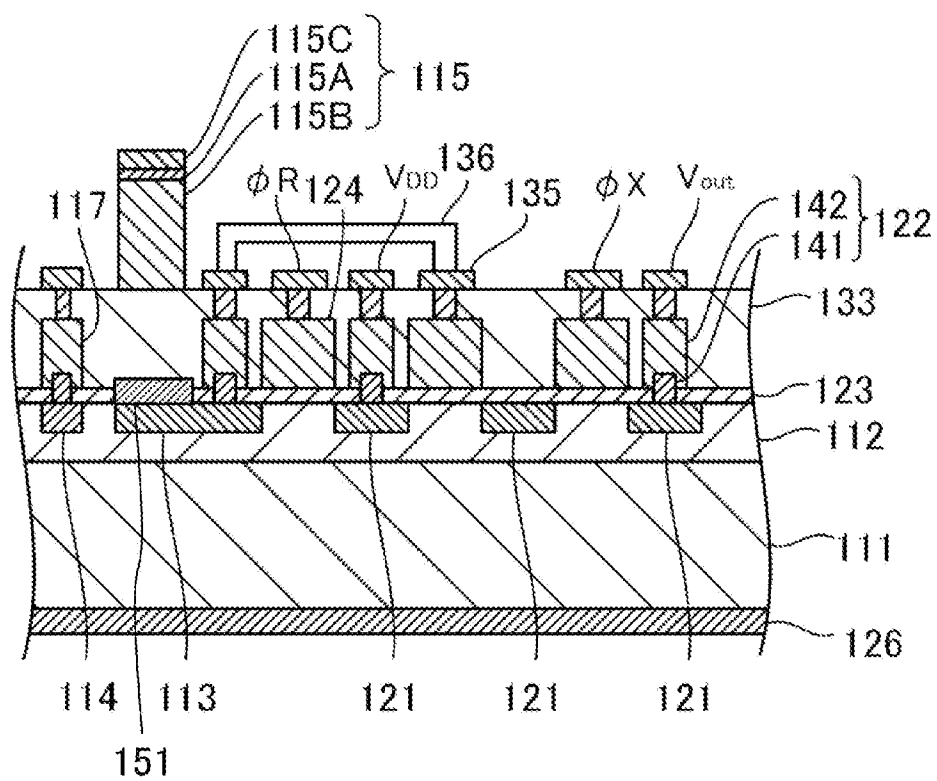
[図3C]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/044054

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01T 3/08 (2006.01)i FI: G01T3/08 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) G01T3/08 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022 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	JP 07-176777 A (HITACHI LTD) 14 July 1995 (1995-07-14) paragraphs [0011]-[0012], fig. 1	1, 4, 8
Y		2-3, 5-6
A		7
Y	JP 2018-505396 A (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 22 February 2018 (2018-02-22) paragraphs [0023], [0036]-[0047]	2-3, 5-6
A		1, 4, 7-8
Y	WO 2013/002697 A1 (EUROPEAN SPALLATION SOURCE ESS AB) 03 January 2013 (2013-01-03) p. 2, line 33, p. 3, lines 1-14, p. 7, lines 6-7	5-6
A		1-4, 7-8
A	JP 2018-017613 A (HITACHI GE NUCLEAR ENERGY LTD) 01 February 2018 (2018-02-01) entire text, all drawings	1-8
☒ 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 05 January 2022		Date of mailing of the international search report 25 January 2022
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/044054**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-535240 A (HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT ZENTRUM FÜR MATERIAL- UND KÜSTENFORSCHUNG GMBH) 10 November 2016 (2016-11-10) entire text, all drawings	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/044054

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	07-176777	A	14 July 1995	(Family: none)	
JP	2018-505396	A	22 February 2018	US 2017/0363755 A1 paragraphs [0026], [0080]- [0091]	
				WO 2016/097415 A1	
				EP 3234652 A1	
				KR 10-2017-0097177 A	
WO	2013/002697	A1	03 January 2013	US 2014/0299781 A1	
				EP 2726640 A1	
JP	2018-017613	A	01 February 2018	(Family: none)	
JP	2016-535240	A	10 November 2016	US 2017/0260619 A1 entire text, all drawings	
				WO 2016/008713 A1	
				EP 2975154 A1	
				CN 107250421 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01T 3/08(2006.01)i FI: G01T3/08		
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）） G01T3/08		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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 請求項の番号
X Y A	JP 07-176777 A（株式会社日立製作所）14.07.1995（1995-07-14） 段落[0011]-[0012]，図1	1, 4, 8 2-3, 5-6 7
Y A	JP 2018-505396 A（コミッサリア ア レネルジー アトミック エ オ ゼネルジ ザル タナテイヴ）22.02.2018（2018-02-22） 段落[0023]，[0036]-[0047]	2-3, 5-6 1, 4, 7-8
Y A	WO 2013/002697 A1（EUROPEAN SPALLATION SOURCE ESS AB）03.01.2013（2013-01-03） 2頁33行目、3頁1-14行目、7頁6-7行目	5-6 1-4, 7-8
A	JP 2018-017613 A（日立GEニュークリア・エナジー株式会社）01.02.2018（2018-02-01） 全文、全図	1-8
☒ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 05.01.2022		国際調査報告の発送日 25.01.2022
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 富士 健太 2G 1129 電話番号 03-3581-1101 内線 3226

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 2016-535240 A (ヘルムホルツツェントルム ゲーストハット ツェントル ム フュアー マテリアル ウント キュステンフォルシュンク ゲーエムペーハー) 10.11.2016 (2016 - 11 - 10) 全文、全図	1-8

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/044054

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	07-176777	A	14.07.1995	(ファミリーなし)	
JP	2018-505396	A	22.02.2018	US 2017/0363755 A1	
				段落[0026], [0080]-[0091]	
				WO 2016/097415 A1	
				EP 3234652 A1	
				KR 10-2017-0097177 A	
WO	2013/002697	A1	03.01.2013	US 2014/0299781 A1	
				EP 2726640 A1	
JP	2018-017613	A	01.02.2018	(ファミリーなし)	
JP	2016-535240	A	10.11.2016	US 2017/0260619 A1	
				全文、全図	
				WO 2016/008713 A1	
				EP 2975154 A1	
				CN 107250421 A	