



安価でかつ加工性が良好で、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（ γ 線）の受光感度を向上させて放射線（ γ 線）を精度よく捕捉する。半導体基板としての真性半導体基板2の表面側にP型半導体層3が形成され、P型半導体層3上に表面金属層7が形成され、真性半導体基板2の裏面側にN型半導体層5が形成され、N型半導体層5上に裏面金属層9が形成された放射線検出素子1であって、表面金属層7の厚さは、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定されている。表面金属層7の材質は、アルミニウム（Al）およびアルミニウム系合金である。表面金属層7の厚さは、 γ 線以外の光の波長が1 nmのX線～2600 nmの近赤外線までの光を遮光する膜厚とする。この場合の表面金属層7の厚さは、100 nmから10000 nmである。

明 細 書

発明の名称：放射線検出素子

技術分野

[0001] 本発明は、例えば核医学、原子力、天文学、宇宙線物理学などの分野で利用され、 γ 線などの放射線を検出する放射線検出素子に関する。

背景技術

[0002] γ 線などの放射線を検出する従来の放射線検出素子は、PINダイオードなどとして例えば核医学、原子力、天文学、宇宙線物理学などの分野で利用されている。

[0003] 図25は、従来の放射線検出素子のPINダイオード構造を示す縦断面図である。

[0004] 図25に示すように、従来の放射線検出素子100は、真性半導体基板101の上下面にP型半導体層102とN型半導体層103が配置されている。P型半導体層102の中央部上を開口した状態で表面電極104が配置され、N型半導体層103上には裏面電極105が配置されている。

[0005] P型半導体層102の中央部上は、光が入るように開口して受光面には電極は形成していない。また、P型半導体層102は放射線(γ 線)の光吸収を抑制するようにP+層は浅く、1 μ m未満に形成されている。

[0006] このように、半導体素子を用いた放射線検出素子100は小型軽量などの利点があるものの、放射線を透過しやすいので放射線検出効率が低いという問題があった。

[0007] これを解決するために、特許文献1の放射線検出素子は、放射線入射面にタングステンなどの金属からなる膜を形成し、放射線の入射エネルギーを減衰させて内部に入射させている。入射エネルギーを減衰させることにより放射線入射によるキャリア生成効率が向上し、金属膜の膜厚を最適化して、放射線検出効率の向上が可能になる。

[0008] 図26は、特許文献1に開示されている従来の放射線検出素子のPINダ

イオード構造を示す縦断面図である。

[0009] 図26に示すように、従来の放射線検出素子200は、例えば、Siなどからなる真性半導体基板201の一方の面にP型半導体層202を配置し、もう一方の面にN型半導体層203を配置してPINダイオードを形成している。放射線が入射する側であるP型半導体層202上にW（タングステン）からなる金属膜からなる電極204が形成されている。また、N型半導体層203上にはAlなどのオーミック電極205が形成されている。電極204がWなどの金属でできているので、その厚さを適切な範囲に設定することにより、放射線検出効率を向上させることができる。

[0010] また、電極204については、単層膜を用いずに、W/Pt、W/Pb、W/Fb、W/In、W/Cu、または、これらの合金からなる積層膜を用いることも可能である。

[0011] 図27は、図26の従来の放射線検出素子による金属膜厚に対する放射線検出効率を算出した図である。

[0012] 放射線検出効率の算出には、Cern Libraryの低エネルギー用シミュレーション

ソフトGate (GEANT4 Application for Tomographic Emission) を用いている。

[0013] 検出対象となる放射線はエネルギー511keVの γ 線を想定している。金属膜の材料として、W、Pt、Pb、In、Alを用いる場合について計算を行っている。放射線検出効率 y の算出式は、金属膜の厚さを x (cm)、金属の放射線吸収係数を a (1/cm)、金属において生成する反跳電子の平均飛程を b (cm)として、

$$y = (1 - \exp(-a \cdot x)) \cdot \exp(-b \cdot x)$$

で近似される。

[0014] 図27から分かるように、検出効率 y は金属膜の厚さ x (cm)に対してプロットしたときに最大値 $y_{\max}$ （ピーク値）を持つ。したがって、シミュレーションを行って、 $x_1 = x_2 = y_{\max} / 2$ ($x_1 < x_2$)となる厚

さ x_1 、 x_2 を求めることができる。例えば、金属膜材料としてW（タングステン）を用いた場合は、 $y_{max} = 0.0325$ であるため、 $1/2 * y_{max} = 0.01625$ であるので、 $x_1 = 0.005 \text{ cm}$ 、 $x_2 = 0.050 \text{ cm}$ と算出できる。この結果から、金属膜の厚さ x を、 0.005 cm （ 50000 nm ）以上、 0.050 cm （ 500000 nm ）以下、即ち、半値幅以内に設定することにより、検出効率が 0.015 パーセント以上となり、従来の放射線検出素子と比較して大幅に検出効率を改善することができることが分かる。

[0015] また、他の金属（Pb、Pt、In）を用いた場合でも、放射線検出効率を金属膜厚に対してプロットしたときの最大値の半値幅以内に膜厚を設定することにより、放射線検出効率を向上させることができる。図27に示さない金属についても計算を行った結果、W、Pt、In、Fe、Pb、Cuが特に放射線検出効率の向上に効果があることが分かった。

先行技術文献

特許文献

[0016] 特許文献1：特開2010-272577号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0017] 特許文献1に開示されている上記従来の放射線検出素子200では、W、Pt、In、Fe、Pb、Cuが特に放射線検出効率の向上に効果があるとされている。ところが、安価であるかどうかおよび製造上の加工性が容易であるかどうかの観点から通常の配線などで用いるアルミニウム（Al）およびアルミニウム系金属がよいが、アルミニウム（Al）およびアルミニウム系金属は、上記従来の放射線検出素子200では、放射線検出効率の向上に効果がないとされている。しかも、W、Pt、In、Fe、Pb、Cuは、放射線検出効率の向上に効果があるとされているものの、その金属膜厚が厚くなり過ぎて製造上の加工性が更に悪化するし、安価でもなくなる

。

[0018] また、従来の放射線検出素子 200 では、放射線入射面にタングステンなどの金属からなる膜を形成し、放射線の入射エネルギーを減衰させて真性半導体基板 201 に放射線を入射させている。ところが、放射線検出に関し、ノイズの原因となる光を遮光することが考慮されておらず、金属膜厚が極端に厚いものになっている。このため、放射線の入射エネルギーを減衰させて内部に入射させていることから、 γ 線の受光感度を向上以外の光に起因するノイズを排除して γ 線を精度よく捕捉する必要がある。

[0019] 本発明は、上記従来の問題を解決するもので、安価でかつ加工性が良好で、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（ γ 線）の受光感度を向上させて放射線（ γ 線）を精度よく捕捉することができる放射線検出素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0020] 本発明の放射線検出素子は、半導体基板の表面側に一導電型半導体層が設けられ、該一導電型半導体層上に表面金属層が設けられ、該半導体基板の裏面側に他導電型半導体層が設けられ、該他導電型半導体層上に裏面金属層が設けられた放射線検出素子であって、該表面金属層の材質は、アルミニウム（Al）またはアルミニウム系合金であり、該表面金属層の厚さは、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく該 γ 線以外の光を遮光して該 γ 線を精度よく捕捉する層厚に設定されているものであり、そのことにより上記目的が達成される。

[0021] また、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、前記 γ 線以外の光の波長が1 nmのX線から2600 nmの近赤外線までの光を遮光する層厚とする。

[0022] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、100 nmから10000 nmまたは200 nmから10000 nmである。

[0023] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さ

は、 100 nm から 6000 nm または 100 nm から 4000 nm である。
。

[0024] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、 200 nm から 6000 nm または 200 nm から 4000 nm である。
。

[0025] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、 100 nm から 1000 nm または 200 nm から 1000 nm である。
。

[0026] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、前記 γ 線以外の光の波長が 380 nm から 780 nm の可視光線の波長域の光を遮光する層厚とする。

[0027] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、 50 nm から 10000 nm または 60 nm から 10000 nm である。
。

[0028] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、 50 nm から 6000 nm または 60 nm から 4000 nm である。

[0029] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における表面金属層の厚さは、 50 nm から 1000 nm または 60 nm から 1000 nm である。

[0030] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子におけるアルミニウム系合金は、 Al-Si または Al-Cu である。

[0031] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における一導電型半導体層の層厚は、一導電型イオンの注入深さとして $0.5\text{ }\mu\text{m}\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ である。
。

[0032] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における一導電型半導体層の層厚は、前記一導電型イオンの注入深さとして $1\text{ }\mu\text{m}\sim 30\text{ }\mu\text{m}$ である。

[0033] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子における一導電型半導体層と該一導電型半導体層の周囲に設けられた他導電型ガードリングとの距離は $20\text{ }\mu\text{m}\sim 1\text{ mm}$ とする。

[0034] さらに、好ましくは、本発明の放射線検出素子におけるP I Nフォトダイオードである。

[0035] 上記構成により、以下、本発明の作用を説明する。

[0036] 本発明においては、半導体基板の表面側に一導電型半導体層が形成され、一導電型半導体層上に表面金属層が形成され、半導体基板の裏面側に他導電型半導体層が形成され、他導電型半導体層上に裏面金属層が形成された放射線検出素子であって、表面金属層の厚さは、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して該 γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定されている。表面金属層の材質は、アルミニウム（Al）およびアルミニウム系合金である表面金属層の厚さは、前記 γ 線以外の光の波長が1 nmのX線～2600 nmの近赤外線までの光を遮光する膜厚とする。この場合の表面金属層の具体的な厚さは、100 nmから10000 nmである。

[0037] これによって、アルミニウム（Al）およびアルミニウム系合金であれば安価でかつ加工性が良好である。また、表面金属層の厚さが、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定されていれば、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（ γ 線）の受光感度を向上させて放射線（ γ 線）を精度よく捕捉することが可能となる。

発明の効果

[0038] 以上により、本発明によれば、アルミニウム（Al）およびアルミニウム系合金であれば安価でかつ加工性が良好であり、表面金属層の厚さが、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定されていれば、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（ γ 線）の受光感度を向上させて放射線（ γ 線）を精度よく捕捉することができる。

図面の簡単な説明

[0039] [図1]本発明の実施形態1における放射線検出素子の要部構成例を示す縦断面図である。

[図2]光の波長の分布を示す図である。

[図3]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が10nmにおいて、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図4]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が20nmにおいて、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図5]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が30nmにおいて、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図6]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が40nmにおいて、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図7]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が50nmにおいて、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図8]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が60nmにおいて、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図9]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がタングステン(W)において、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図10]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がアルミニウム(Al)において、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図11]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がAl-Siのアルミニウム系合金(Al系合金)において、横軸が380nm～780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図12]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質が金(Au)において、横軸が380nm~780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図13]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がAl-Cuのアルミニウム系合金(Al系合金)において、横軸が380nm~780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図14]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がチタン(Ti)において、横軸が380nm~780nmの可視光線の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図15]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が10nmにおいて、横軸が1nmのX線~2600nmの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図16]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が100nmにおいて、横軸が1nmのX線~2600nmの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図17]図1の表面金属層の材質がAl-Siでその膜厚が200nmにおいて、横軸が1nmのX線~2600nmの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図18]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がタングステン(W)において、横軸が1nmのX線~2600nmの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図19]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がアルミニウム(Al)において、横軸が1nmのX線~2600nmの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図20]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質が金(Au)において、横軸が1nmのX線~2600nmの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図21]図1の表面金属層の膜厚が100nmでその材質がアルミニウム・

銅合金（A l - C u）において、横軸が1 n mのX線～2 6 0 0 n mの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図22]図1の表面金属層の膜厚が1 0 0 n mでその材質が銅（C u）において、横軸が1 n mのX線～2 6 0 0 n mの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図23]図1の表面金属層の膜厚が1 0 0 n mでその材質が白金（P t）において、横軸が1 n mのX線～2 6 0 0 n mの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図24]図1の表面金属層の膜厚が1 0 0 n mでその材質がチタン（T i）において、横軸が1 n mのX線～2 6 0 0 n mの近赤外線までの光の波長域に対する反射率および透過率を示す図である。

[図25]従来の放射線検出素子のP I Nダイオード構造を示す縦断面図である。

[図26]特許文献1に開示されている従来の放射線検出素子のP I Nダイオード構造を示す縦断面図である。

[図27]図2 6 従来の放射線検出素子による金属膜厚に対する放射線検出効率を算出した図である。

符号の説明

- [0040]
- 1 放射線検出素子
 - 2 真性半導体基板（半導体基板）
 - 3 P型半導体層（一導電型半導体層）
 - 4 カードリング（他導電型ガードリング）
 - 5 N+裏面拡散層（他導電型半導体層）
 - 6 絶縁膜
 - 7 表面金属層
 - 8 保護膜

発明を実施するための形態

- [0041] 以下に、本発明の放射線検出素子の実施形態1について図面を参照しながら

ら詳細に説明する。なお、各図における構成部材のそれぞれの厚みや長さなどは図面作成上の観点から、図示する構成に限定されるものではない。

[0042] (実施形態1)

図1は、本発明の実施形態1における放射線検出素子の要部構成例を示す縦断面図である。

[0043] 図1において、本実施形態1の放射線検出素子1は、例えば、Siなどからなる半導体基板としての真性半導体基板2の表面側にP+層のP型半導体層3が所定領域に形成され、P型半導体層3の周囲に所定距離を開けてN+層のカードリング4が形成されている。真性半導体基板2の裏面側にはN型半導体層5（N+裏面拡散層）が形成されている。

[0044] 放射線が入射する真性半導体基板2の表面側にはSiO₂からなる絶縁膜6が配設され、P型半導体層3上の絶縁膜6を開口し、その絶縁膜6の開口部にAlまたはAl-SiなどのAl系合金からなる表面金属層7（金属電極）が配設されている。その表面金属層7上を覆うように保護膜8が配設されている。P+領域のP型半導体層3上をMR（金属）の表面金属層7で覆っている。

[0045] 放射線（γ線）以外の光がP型半導体層3から真性半導体基板2に入ると放射線（γ線）の検出に対してノイズとなるため、放射線（γ線）以外の光を表面金属層7で遮光する必要がある。

[0046] また、真性半導体基板2の裏面側のN+裏面拡散層5上にはAlなどのオーミック電極である裏面金属層9（裏面電極）が配設されている。

[0047] 以上により、PINダイオードが構成されて、表面金属層7と裏面金属層9間に所定電圧が印加され、真性半導体基板2に放射線（γ線）が入射することにより表面金属層7と裏面金属層9間に電流が流れ、この流れる電流値を計測することにより、表面金属層7を通してP型半導体層3から真性半導体基板2に入射した放射線（γ線）を高速に検出することができる。

[0048] 表面金属層7の厚さを適切な範囲に設定してノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（γ線）の受光感度を向上させて放射線（γ線）を精

度よく捕捉することができる。

[0049] 表面金属層 7 の厚さは、放射線（ γ 線）だけを P 型半導体層 3 から真性半導体基板 2 に入射させる層厚（膜厚）とし、放射線（ γ 線）以外の光の波長が 1 nm の X 線～2600 nm の近赤外線までの光を遮光する膜厚とする。要するに、表面金属層 7 および P 型半導体層 3 の膜厚を最適化することにより、表面金属層 7 で放射線（ γ 線）以外の光を遮光し、P 型半導体層 3 で放射線（ γ 線）以外の光を吸収して、放射線（ γ 線）を真性半導体基板 2 で精度よく捕捉する。即ち、放射線（ γ 線）を真性半導体基板 2 で精度よく捕捉するための表面金属層 7 および P 型半導体層 3 の膜厚とする。放射線（ γ 線）が減らずに放射線（ γ 線）以外の光を遮光している。

[0050] このことを以下詳細に説明する。

[0051] 図 2 は、光の波長の分布を示す図である。

[0052] 図 2 において、光の波長 0.0004 nm～0.0017 nm が γ 線、1 nm の X 線～2600 nm の近赤外線があり、このうちで、可視光が 380 nm～780 nm の光の波長範囲にある。

[0053] 表面金属層 7 の膜厚は、100 nm または 200 nm 以上 10000 nm 以下とする。さらに好ましくは、表面金属層 7 の膜厚は、100 nm または 200 nm 以上 6000 nm 以下とする。さらに好ましくは、表面金属層 7 の膜厚は、量産加工では、100 nm または 200 nm 以上 3000 nm または 4000 nm 以下とする。表面金属層 7 の膜厚は、微細加工では 100 nm または 200 nm 以上 1000 nm 以下とする。通常の配線の膜厚が 1100 nm であるので、実際には 1100 nm の膜厚で形成することができる。なお、放射線（ γ 線）は表面金属層 7 の膜厚が 1 mm 程度であっても透過率への影響は少ない。また、1 nm の X 線～2600 nm の近赤外線を含めると、Al または Al-Si の表面金属層 7 の膜厚が 200 nm で完全に遮光されるが、遠赤外線まで含めると、Al または Al-Si の表面金属層 7 の膜厚が 200 nm 以上に厚くしないと完全に遮光されない。逆に、可視光線だけを含めると、Al または Al-Si の表面金属層 7 の膜厚は 200

n mよりも大幅に薄い50 n m以上または60 n m以上の膜厚で完全に遮光することができる。

[0054] ここで、表面金属層7の膜厚が200 n m以上であることの理由は、表面金属層7の膜厚が200 n mで図17のように1 n mのX線～2600 n mの近赤外線までの光の波長域で全く透過していない。即ち、ノイズの原因となる光を遮光率0で遮光することにより、ノイズを完全に排除できて受光感度を向上させることができる。以下、図15～図17を用いて説明する。

[0055] 図15において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が100 n mにおいて、上に凸状の曲線（薄い色）が反射率で最初下から上がって凹状になっている曲線（濃い色）が透過率を示している。横軸が光の波長で1 n mのX線～2600 n mの近赤外線までの光の波長で透過していることが分かる。

[0056] 図16において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が100 n mにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線は2000 n m以上の光の波長で光が僅かではあるが透過している。横軸が光の波長で、2000 n m以上2600 n mの近赤外線側の光の波長でほんの僅か透過していることが分かる。

[0057] 図17において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が200 n mにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線は全く現れていない。横軸が光の波長で、2600 n mの近赤外線までの全ての光の波長で全く透過していないことが分かる。

[0058] 次に、表面金属層7の材質は、AlまたはAl-SiなどのAl系合金が好ましい。スパイクを考慮すればAlよりもAl-Siの方がよい。AlまたはAl-SiなどのAl系合金は電極や回路配線として通常用いられるため、WやTi、Cu、Au、Ptなどの他の金属に比べて安価で製造上の加工性がよい。

[0059] ここで、1 n mのX線～2600 n mの近赤外線の波長域において、表面金属層7の膜厚が100 n mで遮光するのに何の材質が好ましいかの理由は

、図18～図24の透過率試験結果に示されている。

[0060] 図18において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がタングステン(W)において、上曲線が反射率で少し現れた下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線が700nm～2000nmの間でほんの僅か現れている。横軸が光の波長で、2600nmの近赤外線までの光の波長でほんの僅か透過していることが分かる。

[0061] 図19において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がアルミニウム(Al)において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線が全く現れていない。横軸が光の波長で、2600nmの近赤外線までの光の波長で全く光が透過していないことが分かる。これは、図15の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が100nmのときの透過率に比べても良好である。

[0062] したがって、材質がアルミニウム(Al)であれば、表面金属層7の膜厚は、100nm以上10000nm以下とすることができる。さらに好ましくは、表面金属層7の膜厚は、100nm以上6000nm以下とすることができる。さらに好ましくは、表面金属層7の膜厚は、量産加工では、100nm以上3000nmまたは4000nm以下とすることができる。表面金属層7の膜厚は、微細加工では100nm以上1000nm以下とすることができる。

[0063] 図20において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質が金(Au)において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線がほんの僅か現れている。横軸が光の波長で、2600nmの近赤外線までのうちで400nm～600nmの光の波長で光が僅かではあるが透過していることが分かる。

[0064] 図21において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がアルミニウム・銅合金(Al-Cu)において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線がほんの僅か現れている。横軸が光の波長で、2600nmの近赤外線までのうちで1600nm以上の光

の波長で光が僅かではあるが透過していることが分かる。

[0065] 図21のAl-Cuのアルミニウム・銅合金（アルミニウム系合金）および、図16のAl-Siのアルミニウム・シリコン合金（アルミニウム系合金）は共に、表面金属層7の膜厚が100nmで光が僅かではあるが透過しているが、表面金属層7の膜厚が200nmでは光が表面金属層7を透過しないことが分かっている。

[0066] 図22において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質が銅（Cu）において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線がほんの僅か現れている。横軸が光の波長で、2600nmの近赤外線までのうちで特に400nm～600nmの光の波長で光が僅かではあるが透過していることが分かる。

[0067] 図23において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質が白金（Pt）において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線がほんの僅か現れている。横軸が光の波長で、2600nmの近赤外線まで全体的に僅かではあるが透過し、特に800nm近辺の光の波長で光が透過していることが分かる。

[0068] 図24において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がチタン（Ti）において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているが、透過率を示す下曲線がほんの僅か現れている。横軸が光の波長で、2600nmの近赤外線までのうちで400nm～600nmの光の波長で光が僅かではあるが透過していることが分かる。

[0069] 次に、Alスパイクの回避について説明し、P+層のP型半導体層3の深さを示す根拠について説明する。

[0070] P型半導体層3の上にAlからなる表面金属層7を設けると、そのP+層のSiとAlが反応して化合物のAlスパイクが析出してそれがリークの原因になる。Alスパイクは0.2μm～0.5μmなので、P型半導体層3のP+注入深さは、Alスパイクの回避のために、それ以上の0.5μm～100μmの深さを必要とする。さらに好ましくは、P型半導体層3のP+

注入深さは $1\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ で、ここではP型半導体層3のP+注入深さを $25\mu\text{m}$ に設定している。P型半導体層3のP+注入深さが $1\mu\text{m}$ を超えるとAlスパイクについては問題がなく、P型半導体層3のP+注入深さが $100\mu\text{m}$ を超えると真性半導体基板2の体積が小さくなり感度低下に繋がる。

[0071] 要するに、 $0.5\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の深さで、P+層のP型半導体層3を深く形成する。これによって、Alスパイク・析出による耐圧不良・リーク不良を回避させることができる。

[0072] なお、Si含有量0.5wtパーセントのAl-Siの場合、Alスパイクの深さは、 $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$ である。

[0073] また、P型半導体層3のP+注入層は、異物によってもP+注入抜けが生じるが、P型半導体層3のP+注入深さが深いほどその次の熱処理にて注入不純物が拡散してP+注入抜けを補うことができる。P+注入深さが深いほどデバイスの安定生産に繋がって品質が安定するというメリットがある。要するに、異物等による局所的なP+注入抜けについて、熱拡散による領域の伸びによりP+注入抜けを回避できる。

[0074] また、 $100\mu\text{m}$ の深さで、P+層のP型半導体層3を深く形成するため、その下のI層の真性半導体基板2の領域が層厚 $200\mu\text{m}$ 未満に狭くなって受光感度が悪くなることから、P+層のP型半導体層3の層厚を調整する必要がある。よって、真性半導体基板2の層厚は $200\mu\text{m}$ 以上とする。

[0075] さらに、P型半導体層3の周囲に所定距離を開けてN+層のガードリング4が形成されている。P型半導体層3のP+領域と(N+)ガードリング4の距離を $20\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ とする。これ以上離れるとリークが大となる。

[0076] 次に、光の波長が可視光の $380\text{nm}\sim 780\text{nm}$ の範囲で、表面金属層7の材質がAl-SiのAl系合金の場合に、表面金属層7の膜厚が 50nm 以上であることの理由は、表面金属層7の膜厚が 50nm で、図7のように可視光の $380\text{nm}\sim 780\text{nm}$ の可視光の波長域で全く透過していない

。この場合、ノイズの原因となる光を遮光率0で遮光することにより、ノイズを完全に排除できて受光感度を向上させることができる。以下、図3～図8を用いて説明する。

[0077] 図3において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が10nmにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の波長域で光が透過していることが分かる。

[0078] 図4において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が20nmにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の波長域で、図3の場合に比べて透過率がかなり下がっているものの、かなりの量で光が透過していることが分かる。

[0079] 図5において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が30nmにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の波長域で、図4の場合に比べて透過率がかなり下がっているものの、僅かに光が透過していることが分かる。

[0080] 図6において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が40nmにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の波長域で、図4の場合に比べて透過率がかなり下がっているものの、本の僅か光が透過していることが分かる。

[0081] 図7において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が50nmにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の波長域で光が透過していないことが分かる。

[0082] 図8において、図1の表面金属層7の材質がAl-Siでその膜厚が60nmにおいて、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の

波長で380nm～780nmの可視光線の波長域で光が全く透過していることが分かる。

[0083] 表面金属層7の材質は、AlまたはAl-SiなどのAl系合金が好ましい。AlまたはAl-SiなどのAl系合金は電極や回路配線として通常用いられるため、WやTi、Cu、Au、Ptなどの他の金属に比べて安価で製造上の加工性がよい。

[0084] 図9において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がタングステン(W)において、上曲線が反射率で530nm以上で少し現れた下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の波長域のうち、530nm以上の可視光線の波長域で光が僅かだけ透過していることが分かる。

[0085] 図10において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がアルミニウム(Al)において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているがここでは現れていない。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の全波長域で光が透過していないことが分かる。

[0086] 図11において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がAl-Siのアルミニウム系合金(Al系合金)において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示しているがここでは現れていない。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の全波長域で光が透過していないことが分かる。

[0087] 図12において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質が金(Au)において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で380nm～780nmの可視光線の波長域のうち、400nm～550nmの可視光線の波長域で光が透過していることが分かる。特に、400nmの後半の可視光線の波長域で光が急激に透過していることが分かる。

[0088] 図13において、図1の表面金属層7の膜厚が100nmでその材質がAl-Cuのアルミニウム系合金(Al系合金)において、上曲線が反射率

で下曲線が透過率を示しているがここでは現れていない。横軸が光の波長で 380 nm ~ 780 nm の可視光線の全波長域で光が透過していないことが分かる。

[0089] 図 14 において、図 1 の表面金属層 7 の膜厚が 100 nm でその材質がチタン (Ti) において、上曲線が反射率で下曲線が透過率を示している。横軸が光の波長で 380 nm ~ 780 nm の可視光線の波長域のうち、380 nm ~ 630 nm の可視光線の波長域で光が透過していることが分かる。特に、500 nm の前後の波長域で光が急激に透過していることが分かる。

[0090] 以上により、表面金属層 7 の材質は、Al または Al-Si や Al-Cu などの Al 系合金が好ましく、図 1 の表面金属層 7 の膜厚が 100 nm で 380 nm ~ 780 nm の可視光線の全波長域で遮光することができて、安価でかつ加工性が良好で、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線 (γ 線) の受光感度を向上させて放射線 (γ 線) を精度よく捕捉することが可能となる。放射線 (γ 線) の検出に特化した放射線検出素子 1 を製造するには、表面金属層 7 の材質が Al または Al-Si や Al-Cu などの Al 系合金の上記構造にすることが好ましい。要するに、Al または Al-Si や Al-Cu などの Al 系合金、さらにはシリコン (Si) は電極や回路配線として通常用いられるため、W や Ti、Cu、Au、Pt などの他の金属に比べて安価で製造上の加工性がよい。

[0091] 以上により、本実施形態 1 によれば、半導体基板としての真性半導体基板 2 の表面側に P 型半導体層 3 が形成され、P 型半導体層 3 上に表面金属層 7 が形成され、真性半導体基板 2 の裏面側に N 型半導体層 5 が形成され、N 型半導体層 5 上に裏面金属層 9 が形成された放射線検出素子 1 であって、表面金属層 7 の厚さは、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定されている。表面金属層 7 の材質は、アルミニウム (Al) およびアルミニウム系合金である。表面金属層 7 の厚さは、 γ 線以外の光の波長が 1 nm の X 線 ~ 2600 nm の近赤外線までの光を遮光する膜厚とする。この場合の表面金属層 7 の厚さは、100 nm

から10000nmである。

[0092] これによって、アルミニウム（Al）およびアルミニウム系合金を用いれば、安価でかつ加工性が良好であり、表面金属層7の厚さとして、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定すれば、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（ γ 線）の受光感度を向上させて放射線（ γ 線）を精度よく捕捉することができる。

[0093] なお、本実施形態1では、特に詳細には説明しなかったが、半導体基板の表面側に一導電型半導体層が形成され、一導電型半導体層上に表面金属層が形成され、半導体基板の裏面側に他導電型半導体層が形成され、他導電型半導体層上に裏面金属層が形成された放射線検出素子であって、表面金属層の材質は、アルミニウム（Al）およびアルミニウム系合金であり、表面金属層の厚さは、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定されている。これによって、安価でかつ加工性が良好で、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（ γ 線）の受光感度を向上させて放射線（ γ 線）を精度よく捕捉することができる本発明の目的を達成することができる。

[0094] 以上のように、本発明の好ましい実施形態1を用いて本発明を例示してきたが、本発明は、この実施形態1に限定して解釈されるべきものではない。本発明は、特許請求の範囲によってのみその範囲が解釈されるべきであることが理解される。当業者は、本発明の具体的な好ましい実施形態1の記載から、本発明の記載および技術常識に基づいて等価な範囲を実施することができることが理解される。本明細書において引用した特許、特許出願および文献は、その内容自体が具体的に本明細書に記載されているのと同様にその内容が本明細書に対する参考として援用されるべきであることが理解される。

産業上の利用可能性

[0095] 本発明は、例えば核医学、原子力、天文学、宇宙線物理学などの分野で利用され、 γ 線などの放射線を検出する放射線検出素子の分野において、アル

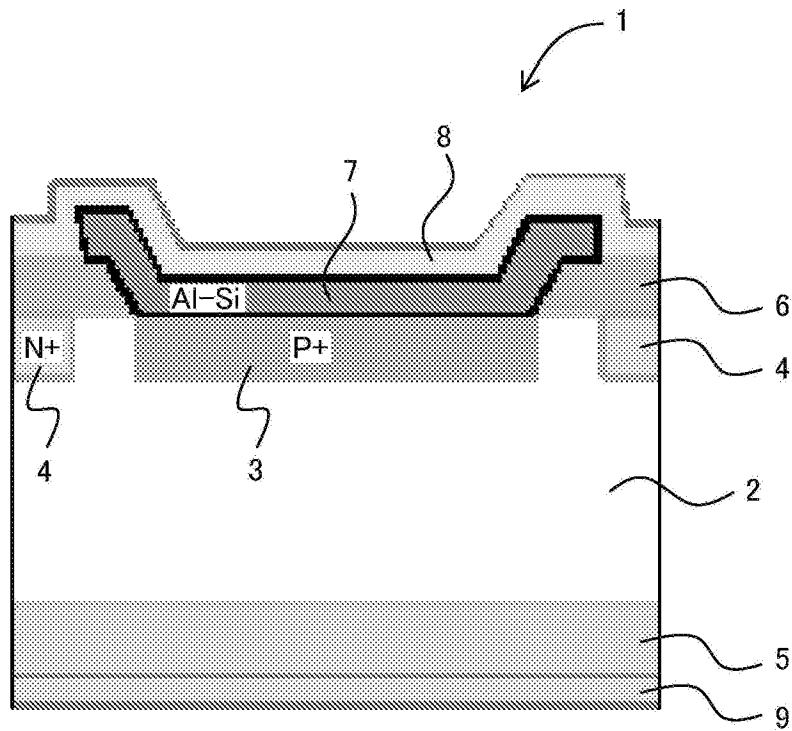
ミニウム（Al）およびアルミニウム系合金であれば安価でかつ加工性が良好であり、表面金属層の厚さが、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく遮光して γ 線を精度よく捕捉する膜厚に設定されていれば、ノイズの原因となる光を遮光することにより放射線（ γ 線）の受光感度を向上させて放射線（ γ 線）を精度よく捕捉することができる。

請求の範囲

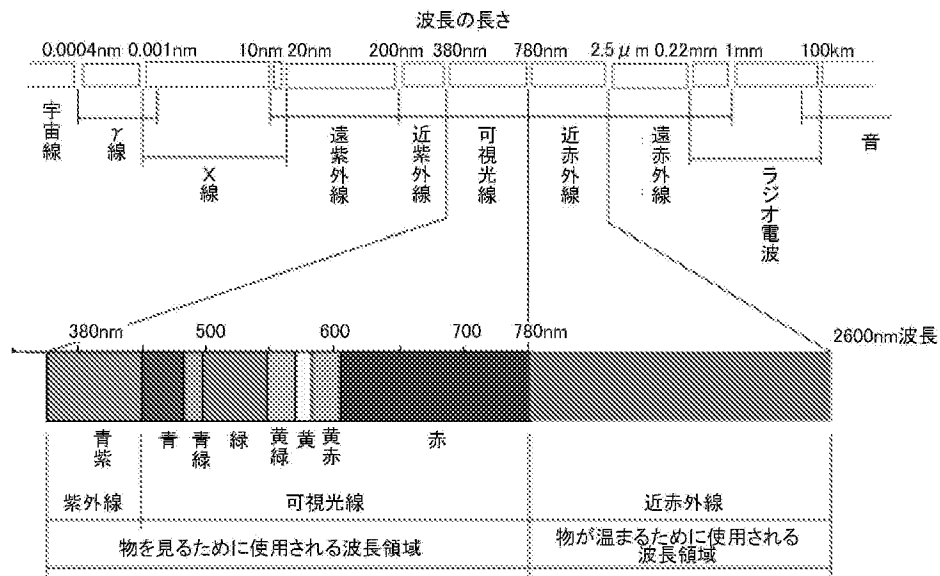
- [請求項1] 半導体基板の表面側に一導電型半導体層が設けられ、該一導電型半導体層上に表面金属層が設けられ、該半導体基板の裏面側に他導電型半導体層が設けられ、該他導電型半導体層上に裏面金属層が設けられた放射線検出素子であって、
- 該表面金属層の材質は、アルミニウム（Al）またはアルミニウム系合金であり、該表面金属層の厚さは、 γ 線以外の光に起因するノイズを排除するべく該 γ 線以外の光を遮光して該 γ 線を精度よく捕捉する層厚に設定されている放射線検出素子。
- [請求項2] 前記表面金属層の厚さは、前記 γ 線以外の光の波長が1 nmのX線から2600 nmの近赤外線までの光を遮光する層厚とする請求項1に記載の放射線検出素子。
- [請求項3] 前記表面金属層の厚さは、100 nmから10000 nmまたは200 nmから10000 nmである請求項2に記載の放射線検出素子。
- [請求項4] 前記表面金属層の厚さは、100 nmから6000 nmまたは100 nmから4000 nmである請求項3に記載の放射線検出素子。
- [請求項5] 前記表面金属層の厚さは、200 nmから6000 nmまたは200 nmから4000 nmである請求項4に記載の放射線検出素子。
- [請求項6] 前記表面金属層の厚さは、100 nmから1000 nmまたは200 nmから1000 nmである請求項5に記載の放射線検出素子。
- [請求項7] 前記表面金属層の厚さは、前記 γ 線以外の光の波長が380 nmから780 nmの可視光線の波長域の光を遮光する層厚とする請求項2に記載の放射線検出素子。
- [請求項8] 前記表面金属層の厚さは、50 nmから10000 nmまたは60 nmから10000 nmである請求項7に記載の放射線検出素子。
- [請求項9] 前記表面金属層の厚さは、50 nmから6000 nmまたは60 nmから4000 nmである請求項8に記載の放射線検出素子。

- [請求項10] 前記表面金属層の厚さは、50 nmから1000 nmまたは60 nmから1000 nmである請求項9に記載の放射線検出素子。
- [請求項11] 前記アルミニウム系合金は、Al-SiまたはAl-Cuである請求項1に記載の放射線検出素子。
- [請求項12] 前記一導電型半導体層の層厚は、一導電型イオンの注入深さとして0.5 μ m～100 μ mである請求項1に記載の放射線検出素子。
- [請求項13] 前記一導電型半導体層の層厚は、前記一導電型イオンの注入深さとして1 μ m～30 μ mである請求項12に記載の放射線検出素子。
- [請求項14] 前記一導電型半導体層と該一導電型半導体層の周囲に設けられた他導電型ガードリングとの距離は20 μ m～1 mmとする請求項1に記載の放射線検出素子。
- [請求項15] PINフォトダイオードである請求項1に記載の放射線検出素子。

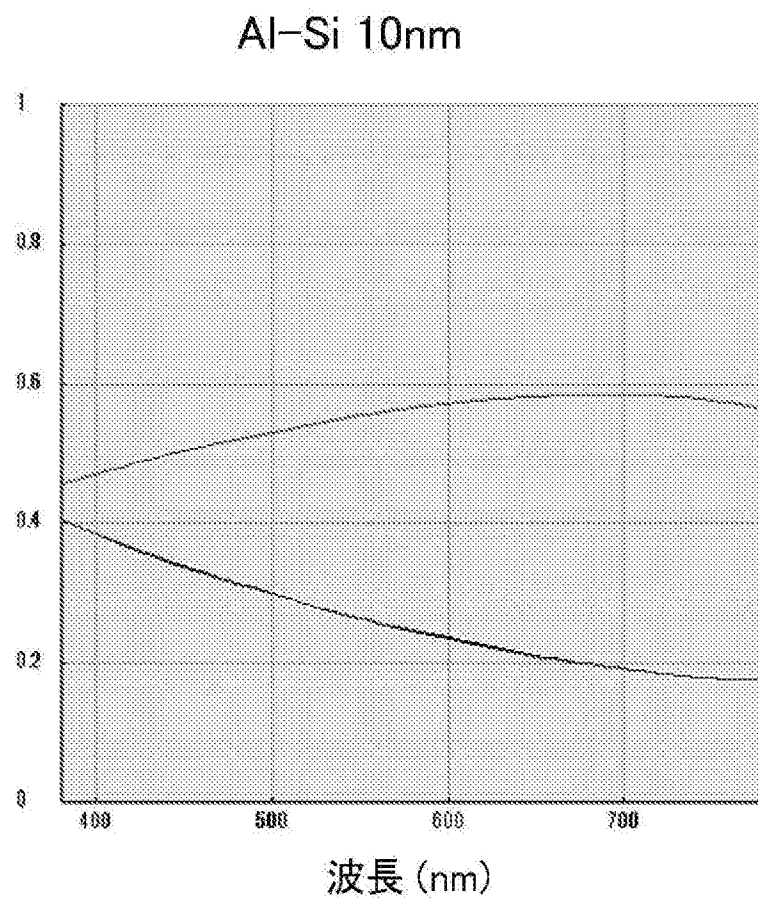
[図1]



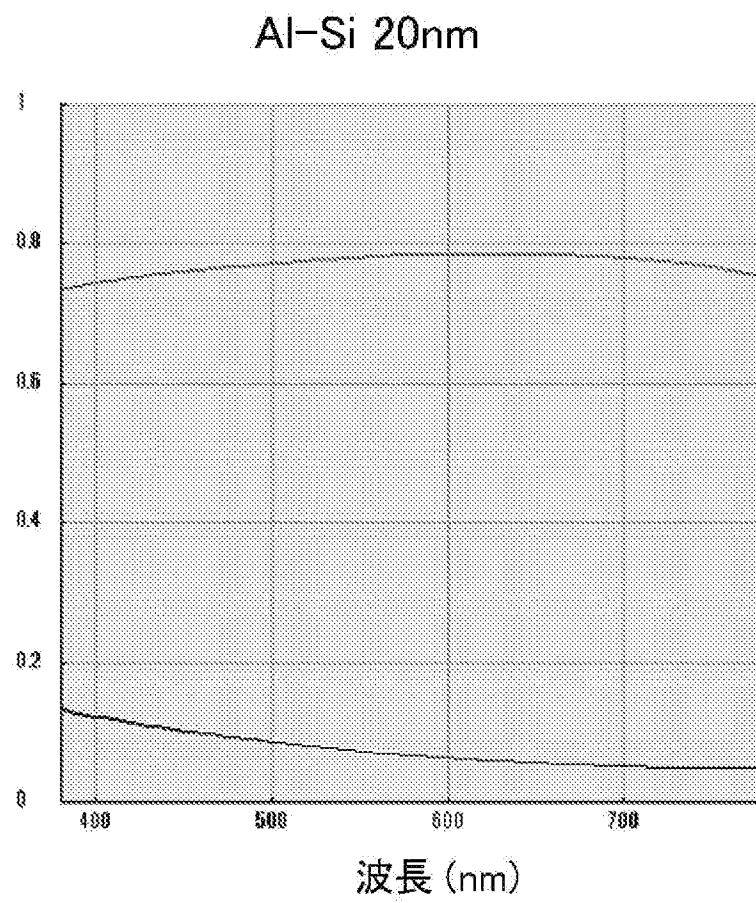
[図2]



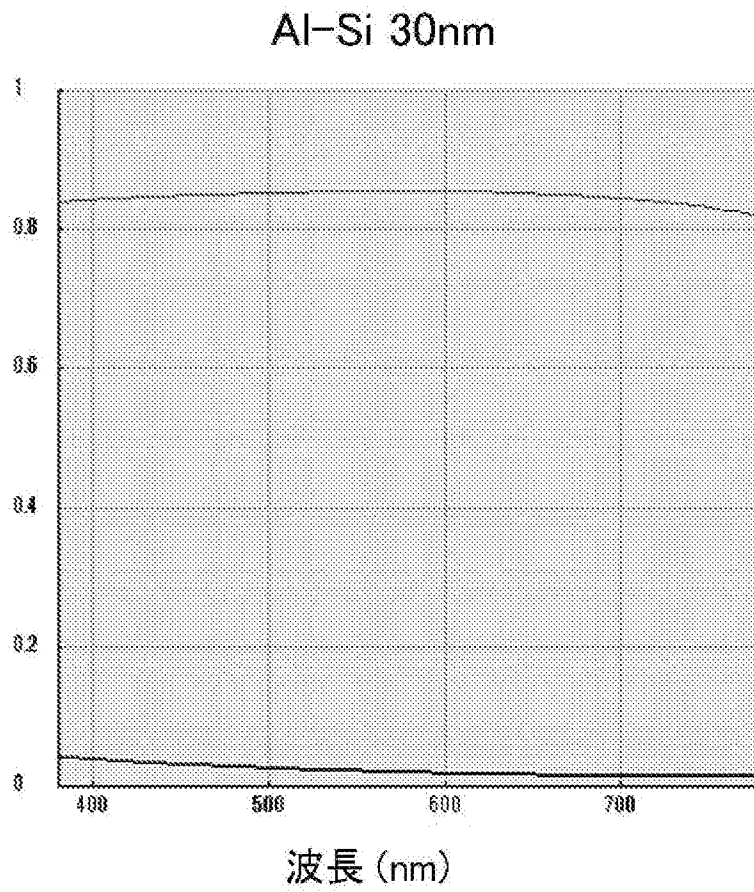
[図3]



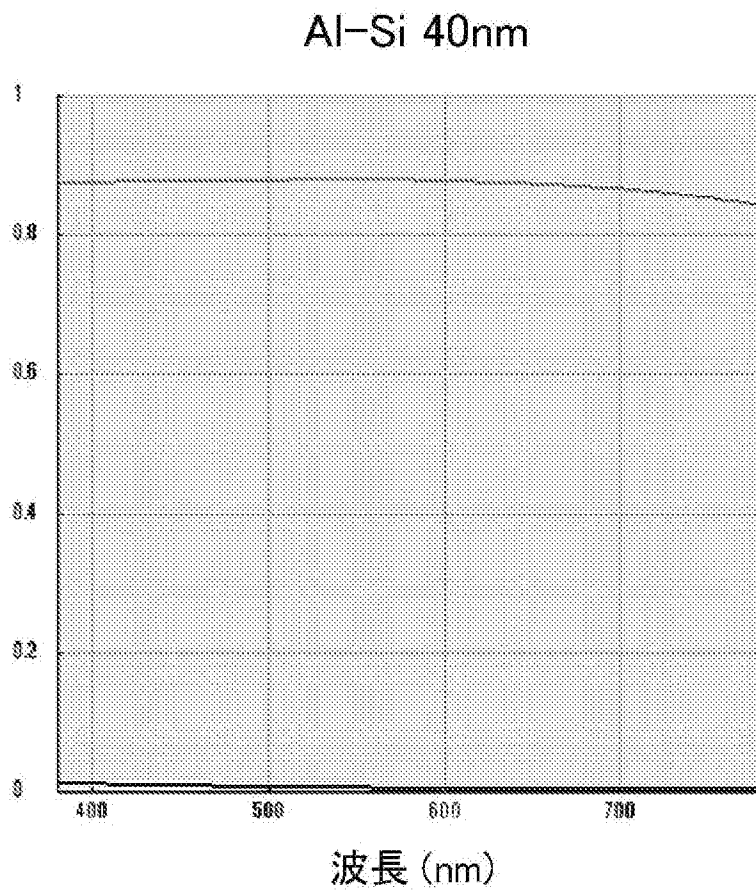
[図4]



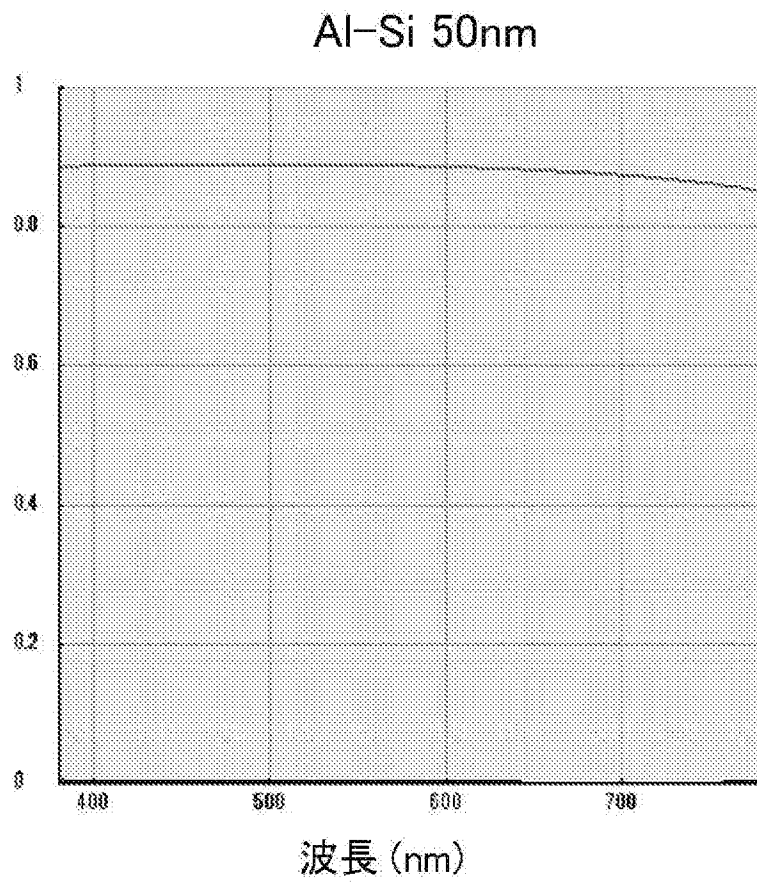
[図5]



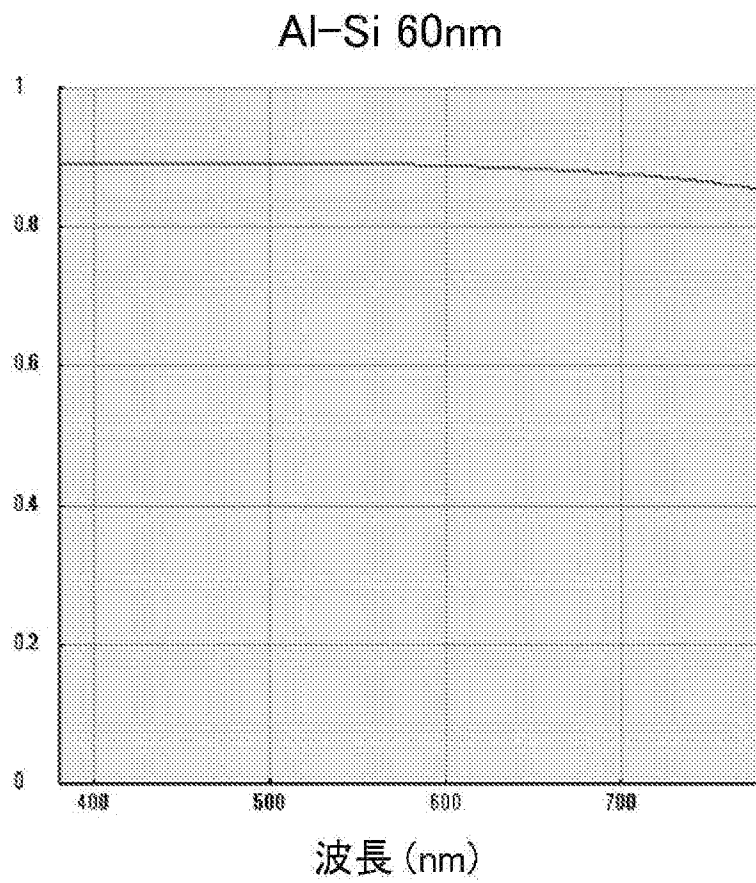
[図6]



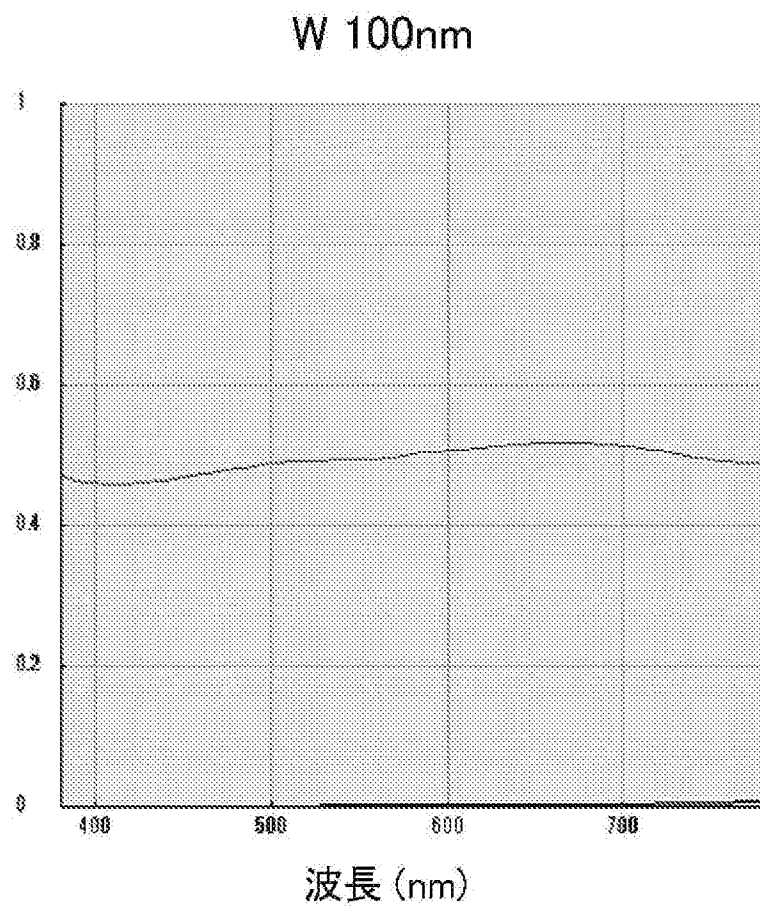
[図7]



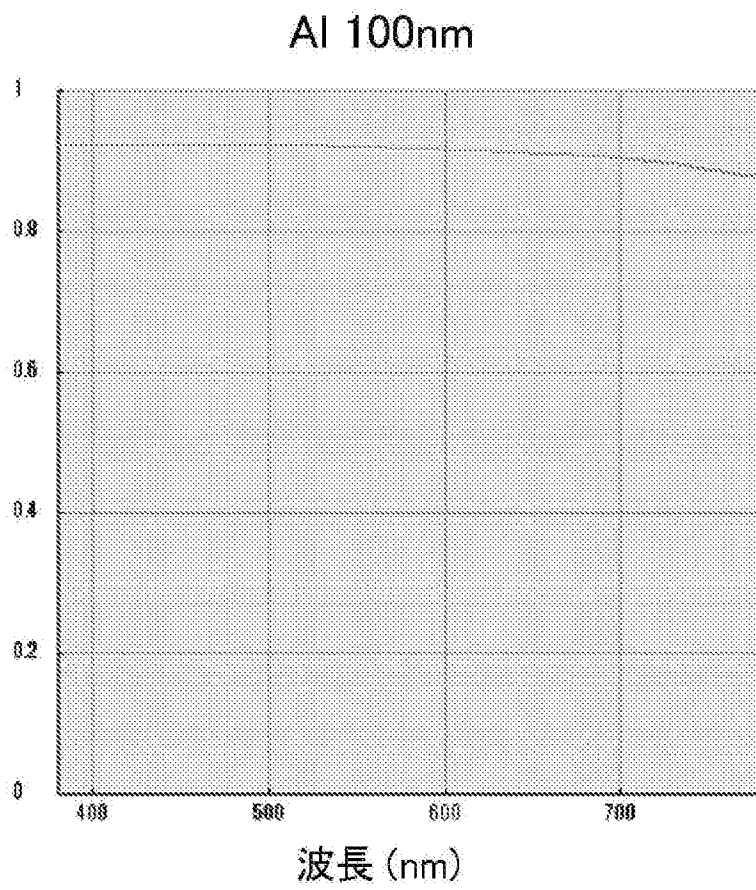
[図8]



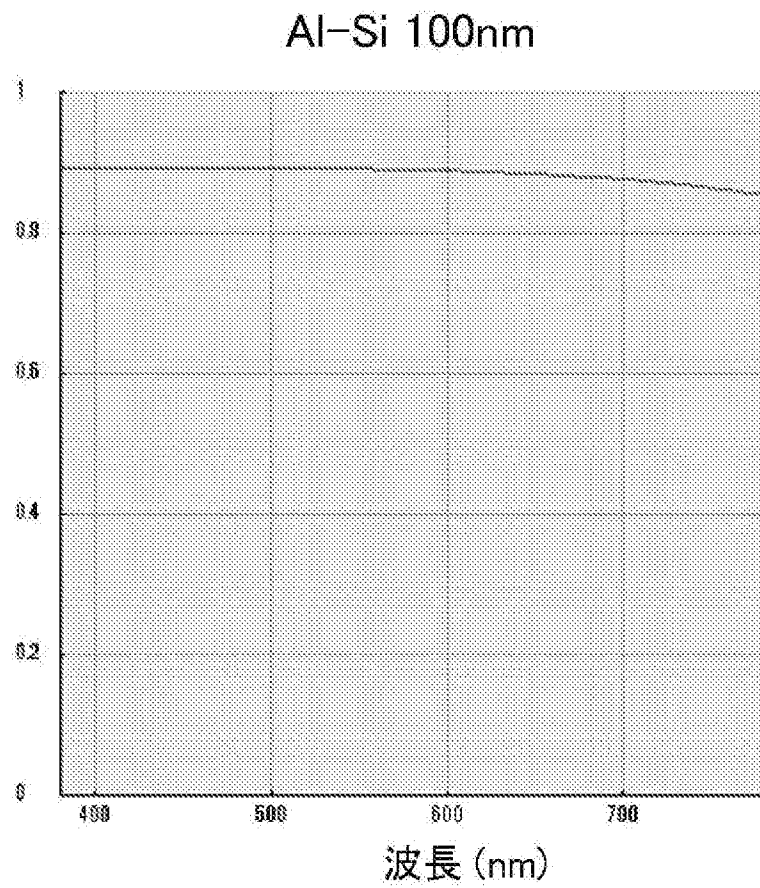
[図9]



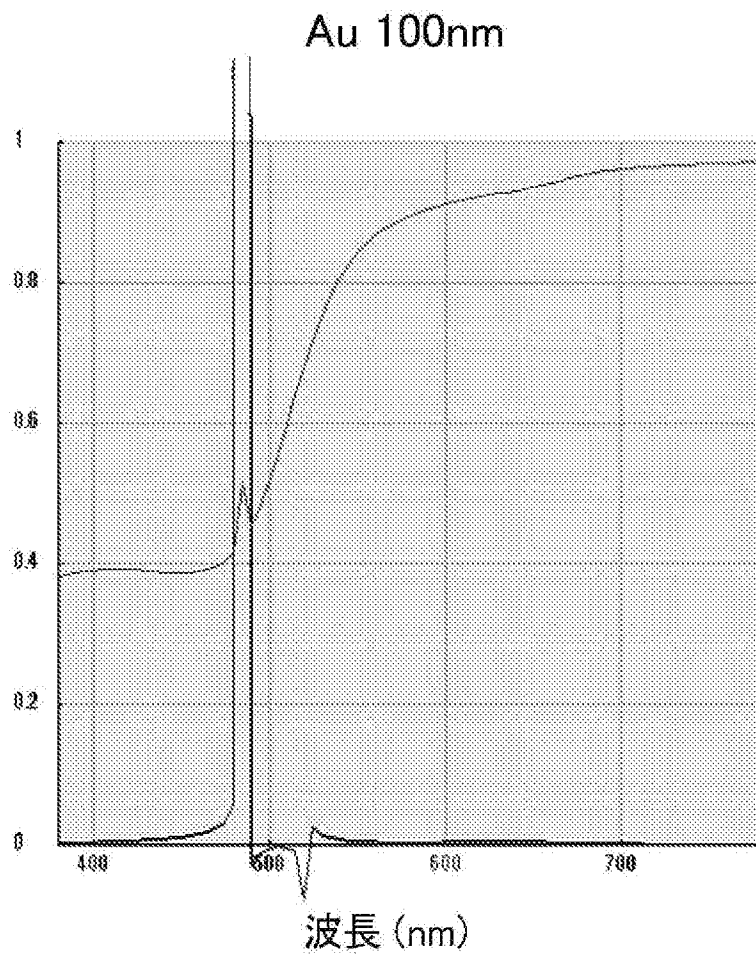
[図10]



[図11]

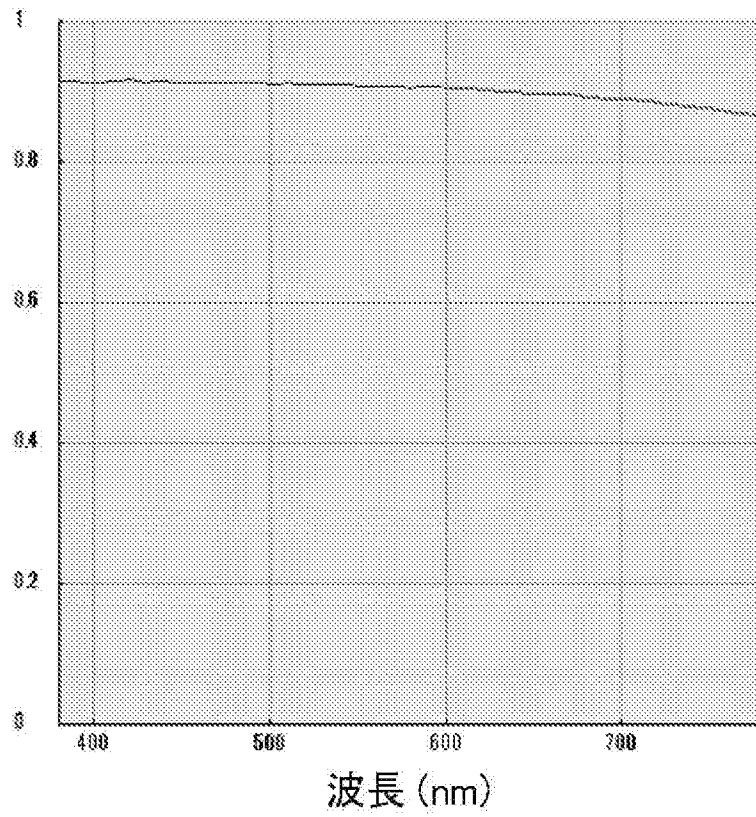


[図12]

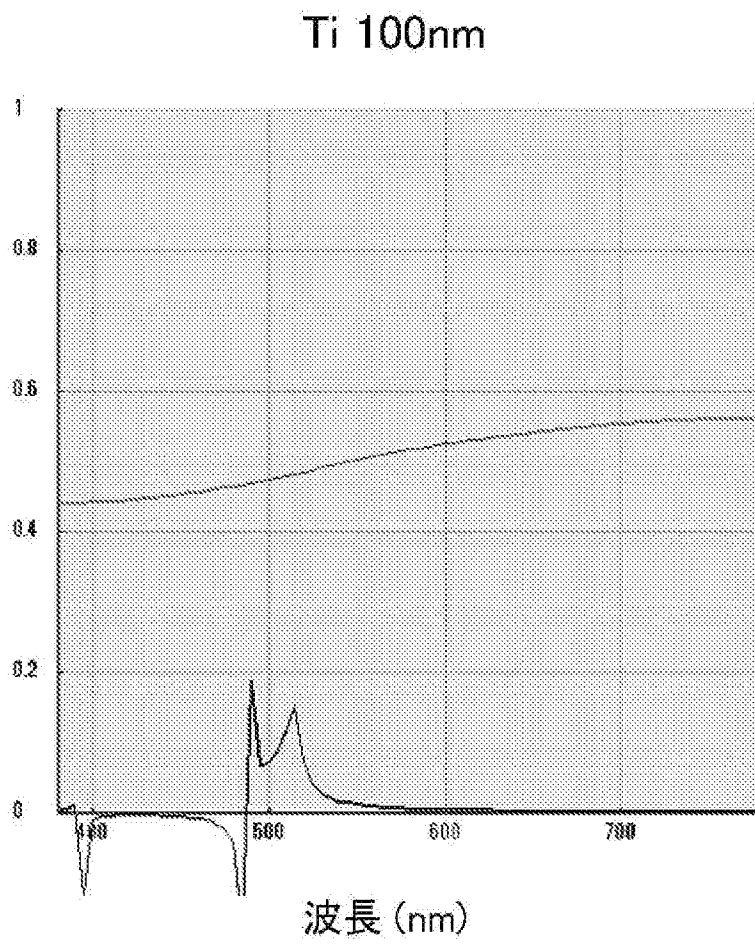


[図13]

Al-Cu 100nm

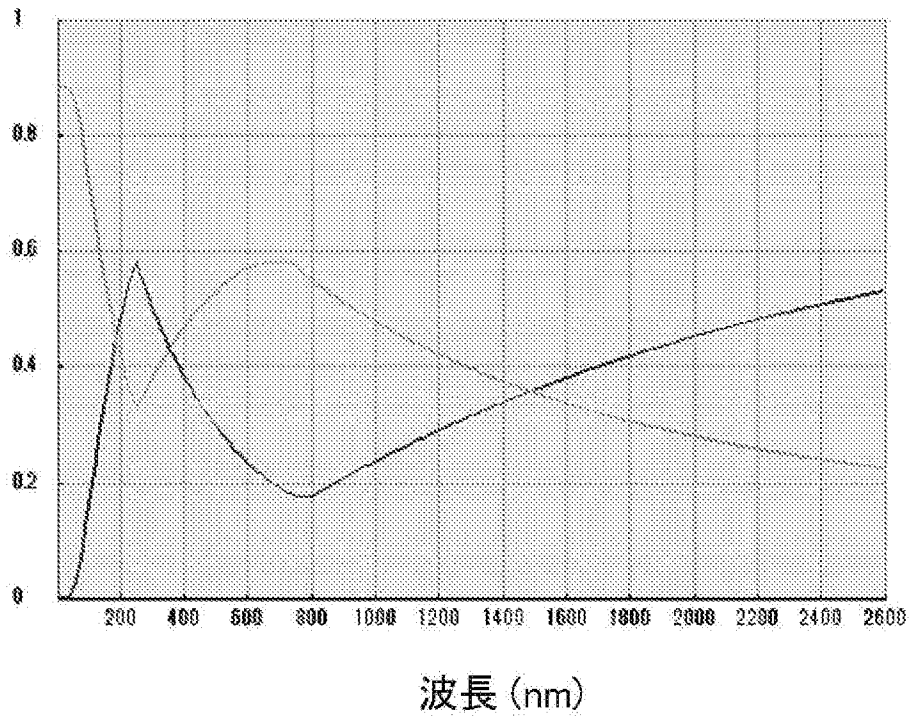


[図14]

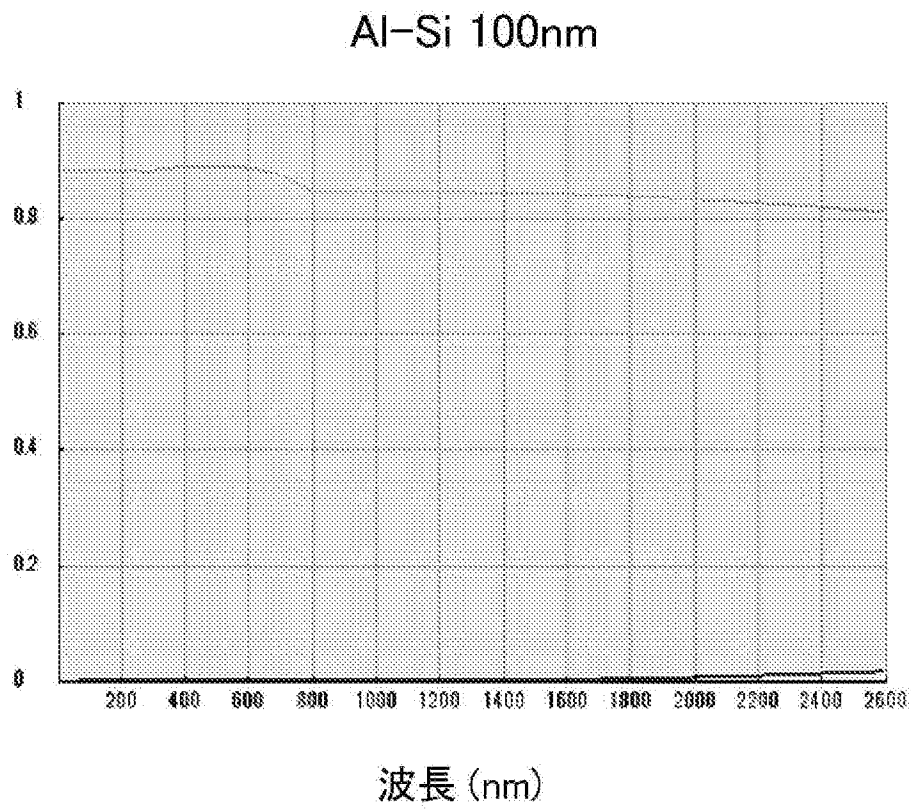


[図15]

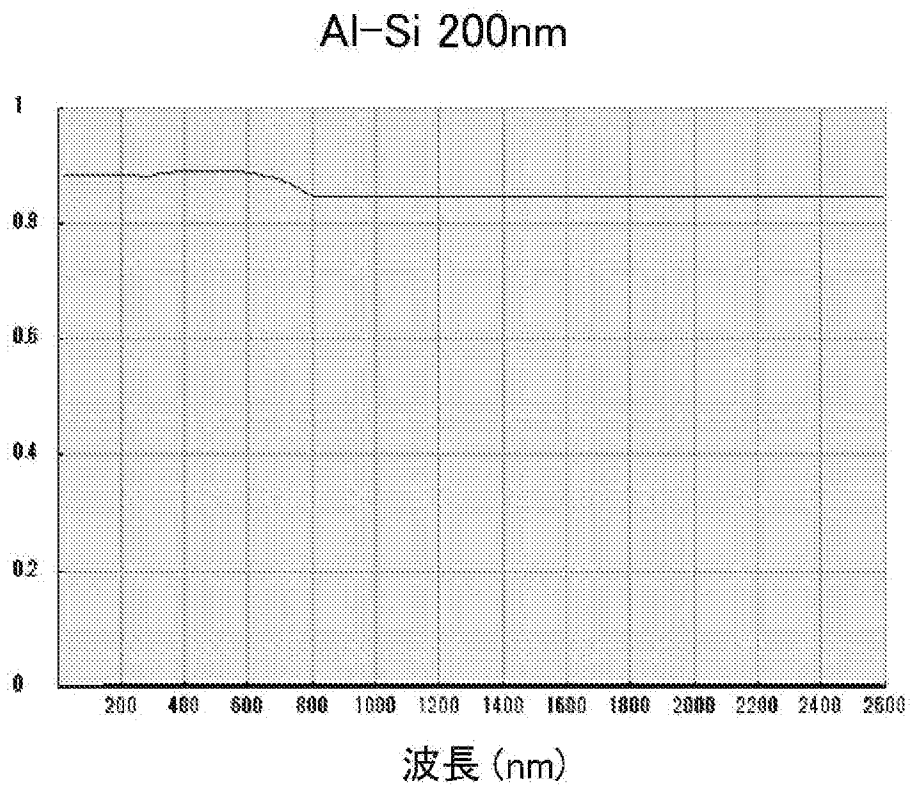
Al-Si 10nm



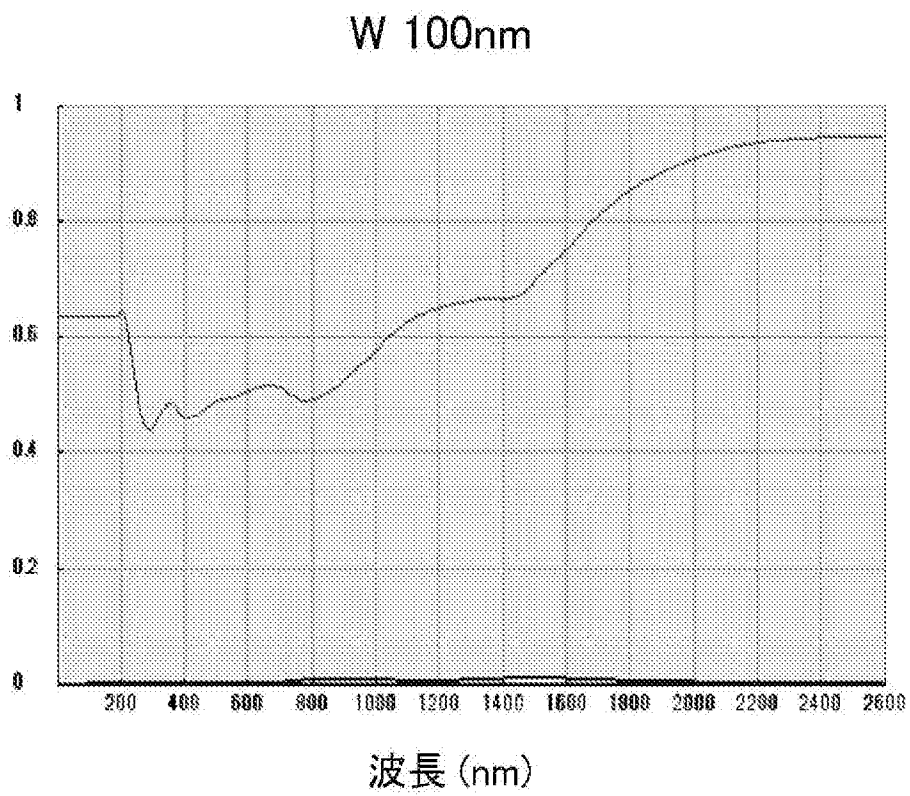
[図16]



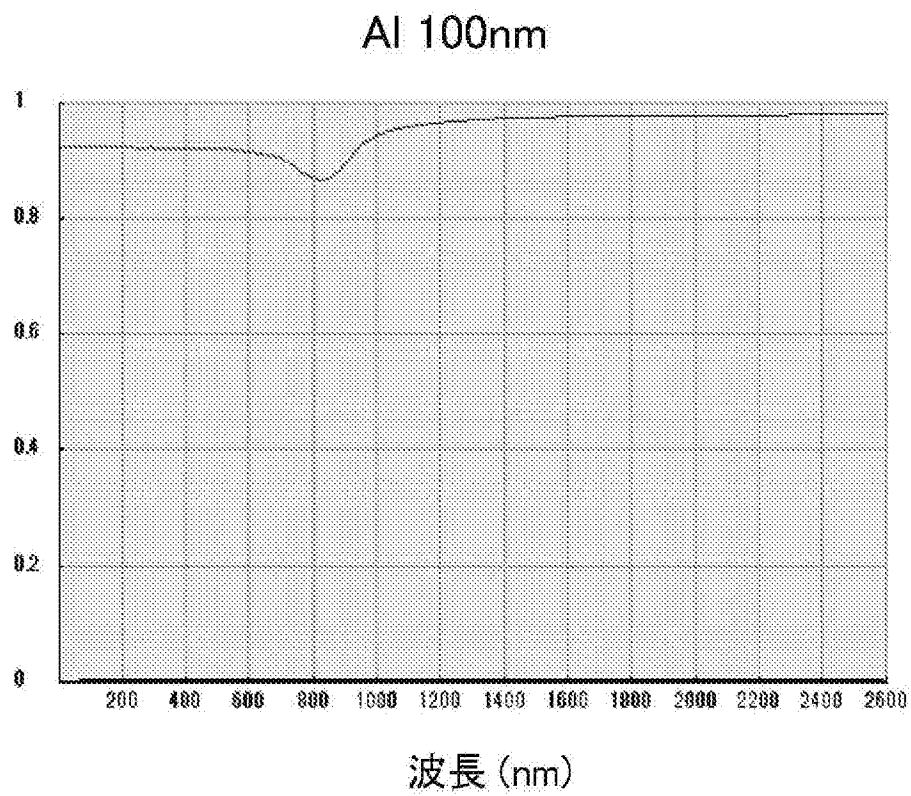
[図17]



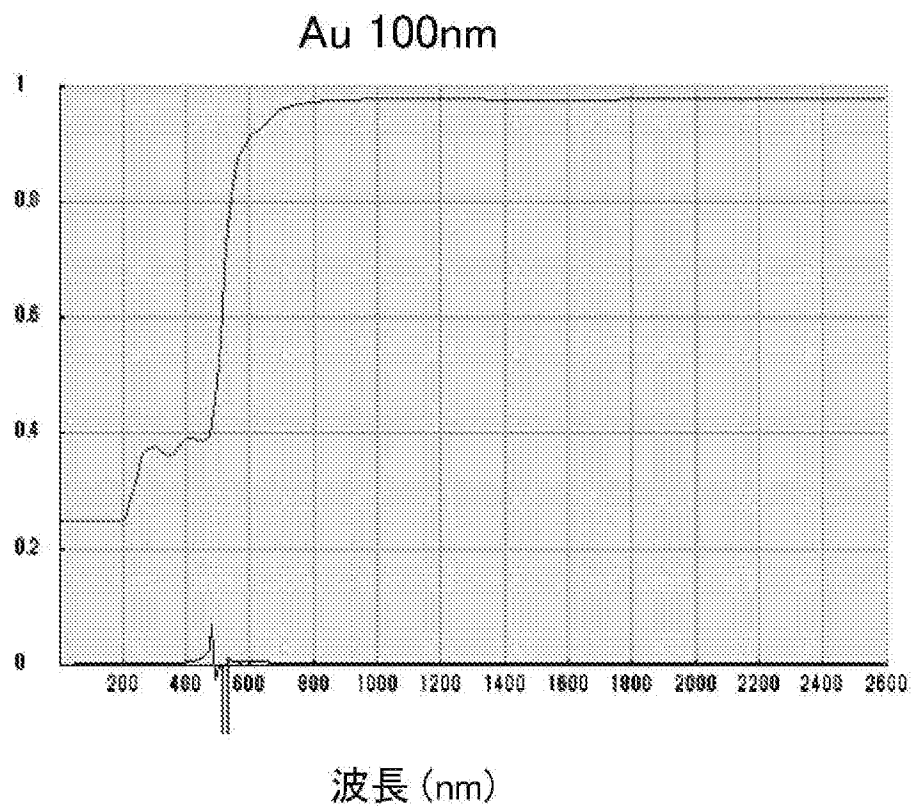
[図18]



[図19]

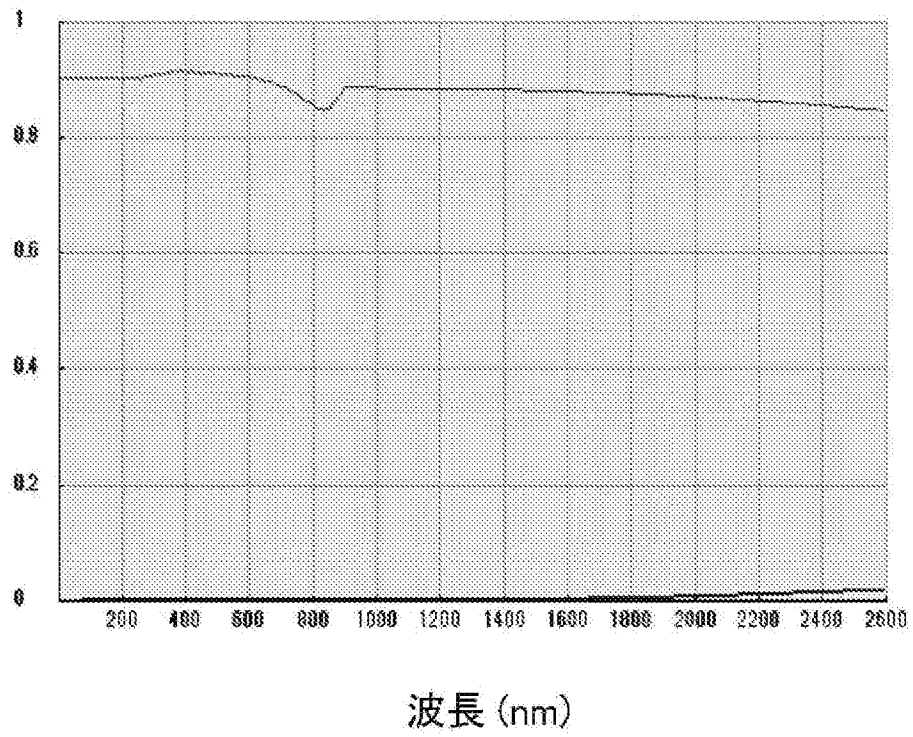


[図20]

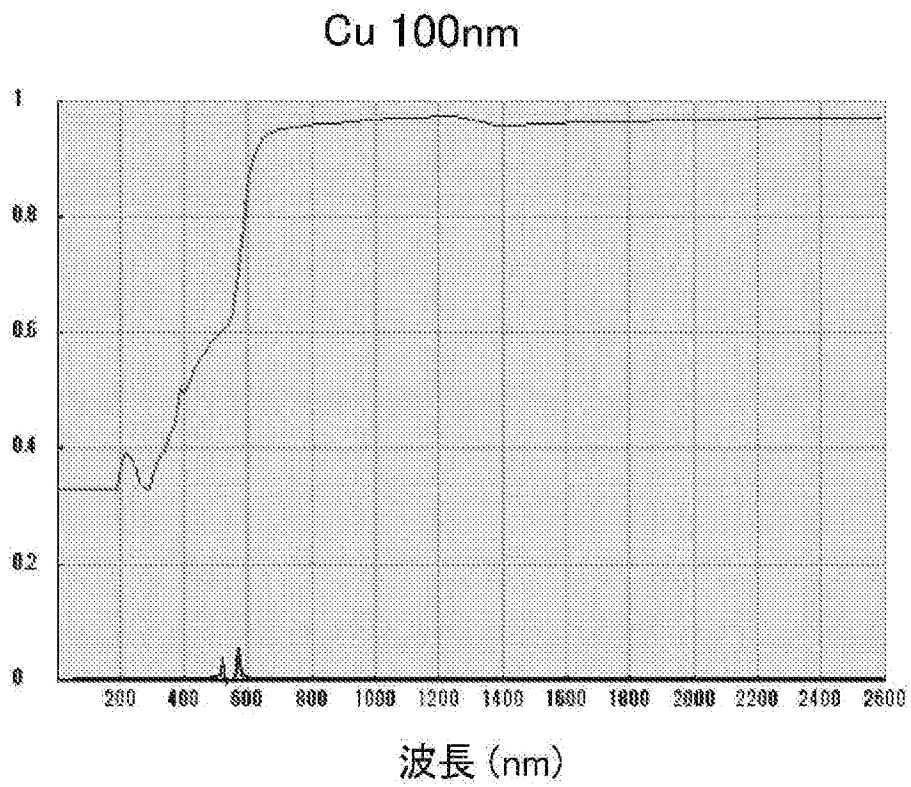


[図21]

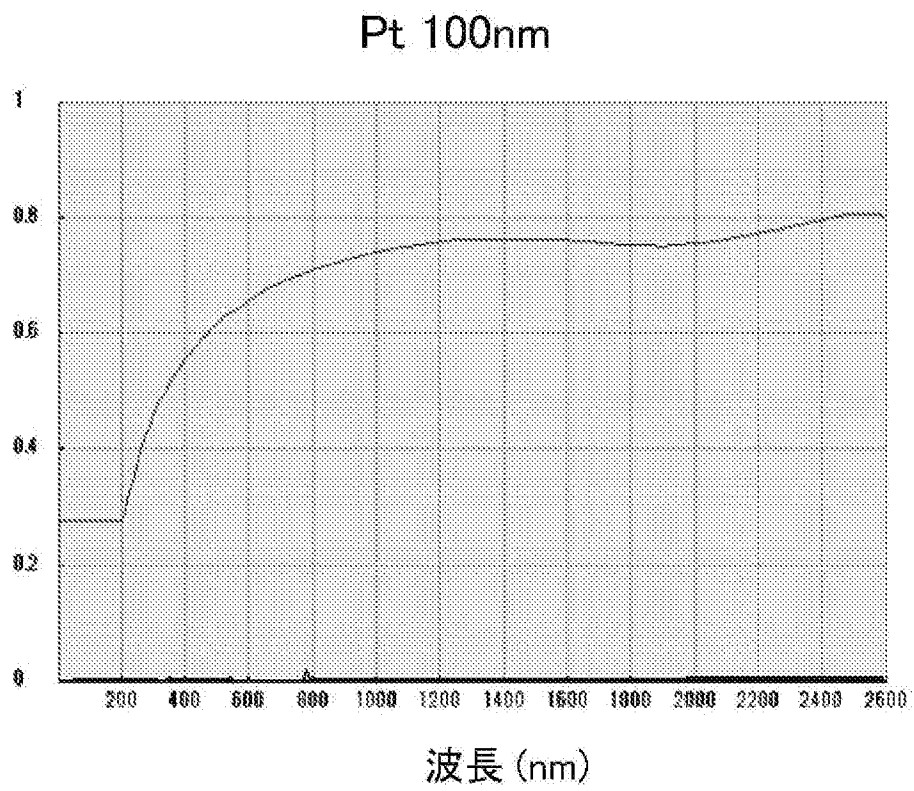
Al-Cu 100nm



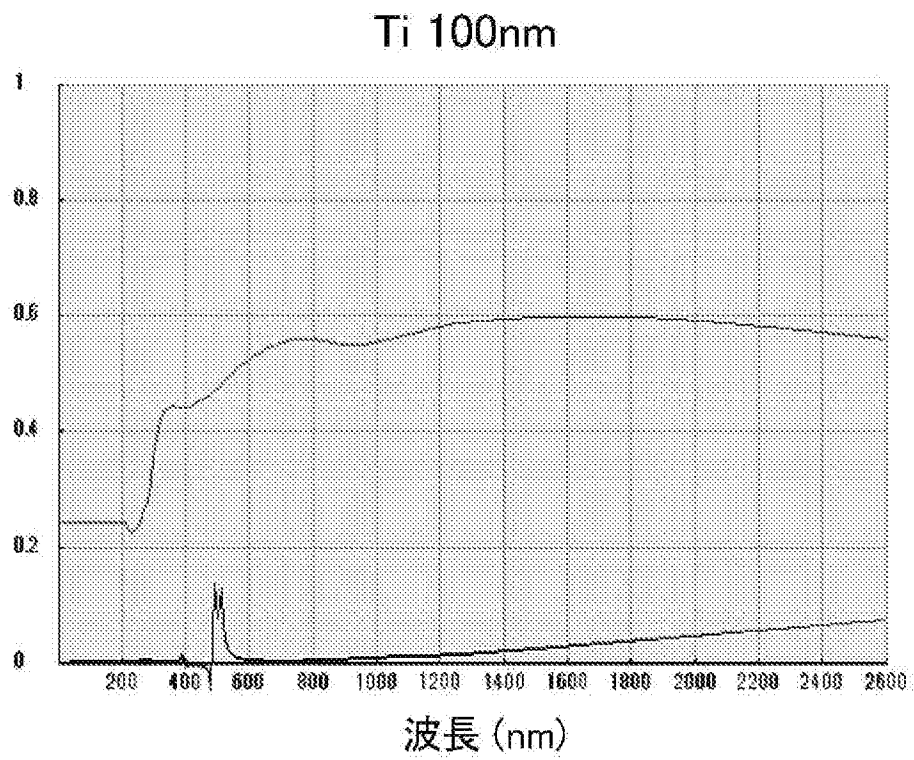
[図22]



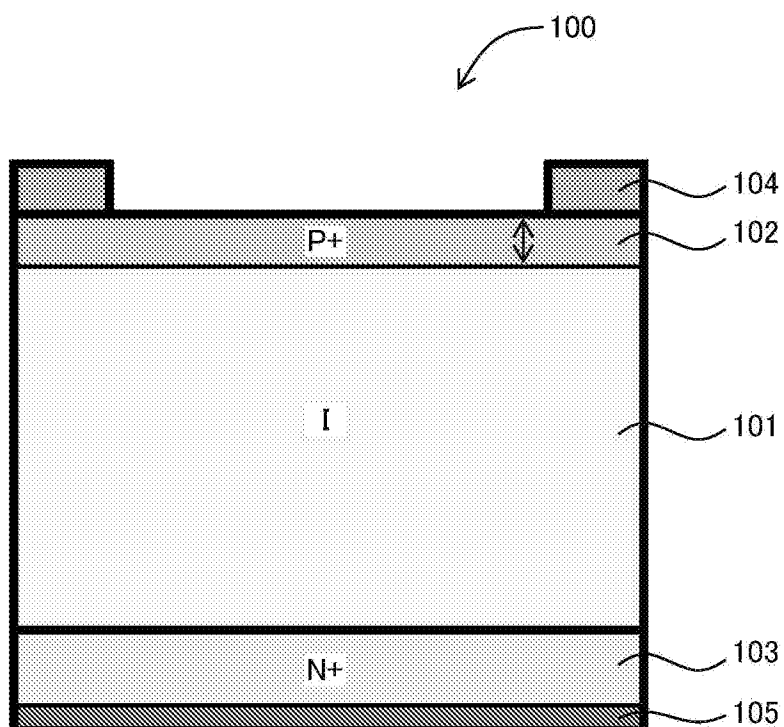
[図23]



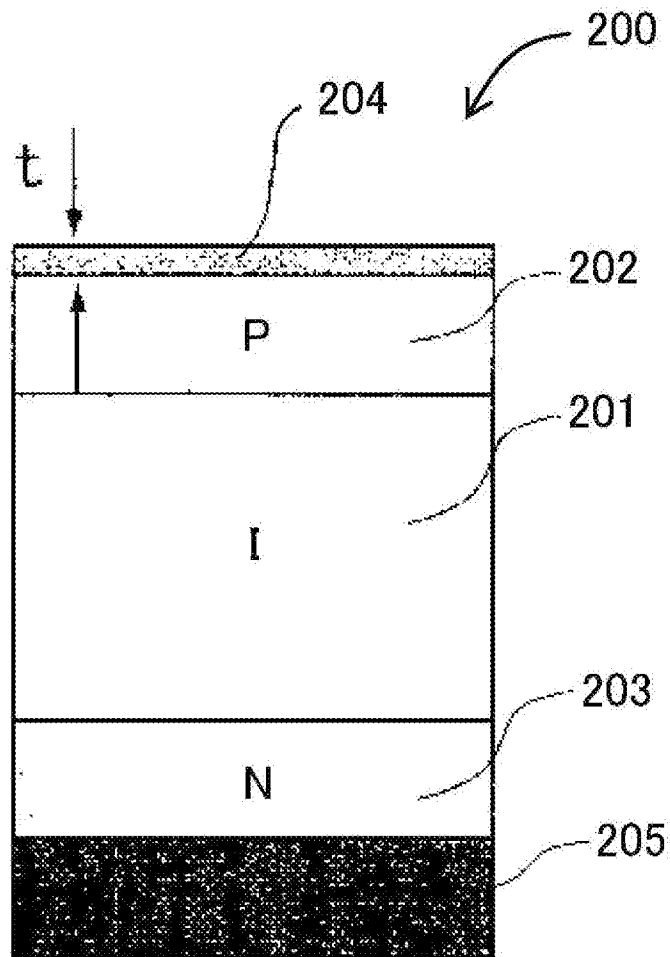
[図24]



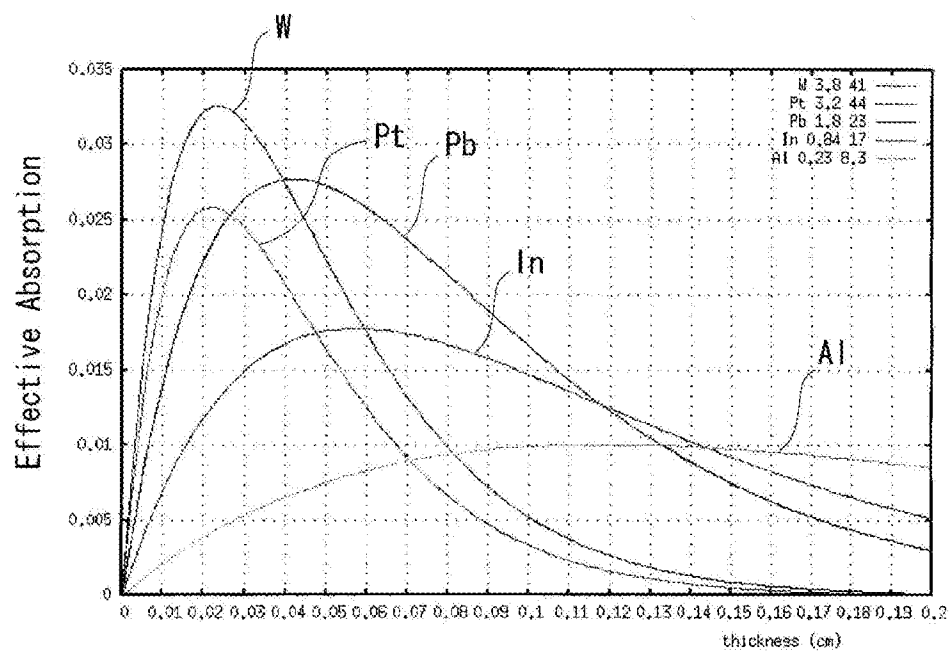
[図25]



[図26]



[図27]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/004210

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L31/00(2006.01) i, G01T1/24(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)

H01L31/00, G01T1/24

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 Y	JP 7-240534 A (Seiko Instruments Inc.), 12 September 1995 (12.09.1995), paragraphs [0051] to [0072]; fig. 1, 7 & US 5719414 A & EP 616373 A2	1-11, 14, 15 12, 13
Y	JP 7-122776 A (Seiko Instruments Inc.), 12 May 1995 (12.05.1995), paragraphs [0029] to [0037]; fig. 1 & EP 642178 A2	1-15
Y	JP 8-236799 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 13 September 1996 (13.09.1996), paragraphs [0016] to [0020] (Family: none)	1-15

☐ 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
13 August, 2013 (13.08.13)

Date of mailing of the international search report
27 August, 2013 (27.08.13)

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. H01L31/00(2006.01)i, G01T1/24(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. H01L31/00, G01T1/24

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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	JP 7-240534 A (セイコー電子株式会社) 1995.09.12, 【0051】 — 【0072】, 図1, 7 & US 5719414 A & EP 616373 A2	1-11, 14, 15 12, 13
Y	JP 7-122776 A (セイコー電子株式会社) 1995.05.12, 【0029】 — 【0037】, 図1 & EP 642178 A2	1-15
Y	JP 8-236799 A (富士電機株式会社) 1996.09.13, 【0016】—【0020】 (ファミリーなし)	1-15

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

1 3 . 0 8 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 7 . 0 8 . 2 0 1 3

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)

金高 敏康

2 K

9 7 1 2

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