ヘテロ接合バックコンタクト型太陽電池の構造に関する考察

・発電効率向上設計指針＝ヘテロ接合領域以外の領域を可能な限り狭くするという考え方は正しいのか、疑問である
⇒　パッシベーション膜の高品質化が最重要である

・プラズマCVD法＝RFプラズマCVD法はプラズマダメージが大きいので、パッシベーション膜（SiNx膜、i型アモルファスシリコン膜）の形成には適さない
⇒結晶欠陥の導入抑制のために低ダメージのプラズマCVD装置の開発が進められている.

・パッシベーション膜の役割⇒低欠陥密度のアモルファスシリコン膜が必要
①欠陥終端　②キャリア輸送

平成29年10月

APT代表　村田正義

発電効率向上設計指針＝ヘテロ接合領域以外の領域を可能な限り狭くするという考え方は正しいのか、疑問である⇒パッシベーション膜の高品質化が重要である

セルの発電効率（%）

＝Voc（V）xJsc（mA／cm²）xFF（%）

・n領域の幅を狭くし、ヘテロ領域の幅を広くとると、短絡電流は増大するが、n領域の抵抗が増大し曲線因子が低下する

⇒効率は向上しない

・n領域の幅を増大すれば、コンタクト抵抗が小さくなり曲線因子が増大する⇒効率が向上

・ヘテロ領域の幅が広くなくても、i型アモルファスシリコンのパッシベーション効果により、短絡電流は増大する⇒効率が向上

参考資料

（１）神岡武文ほか、結晶シリコン太陽電池におけるパッシベーション技術、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)３５４-３５９

（２）岡本 親扶ほか、ヘテロ接合型バックコンタクトセルおよびヘテロ接合型バックコンタクトセルの製造方法、特開２０１５ー１７７１７６（シャープ）

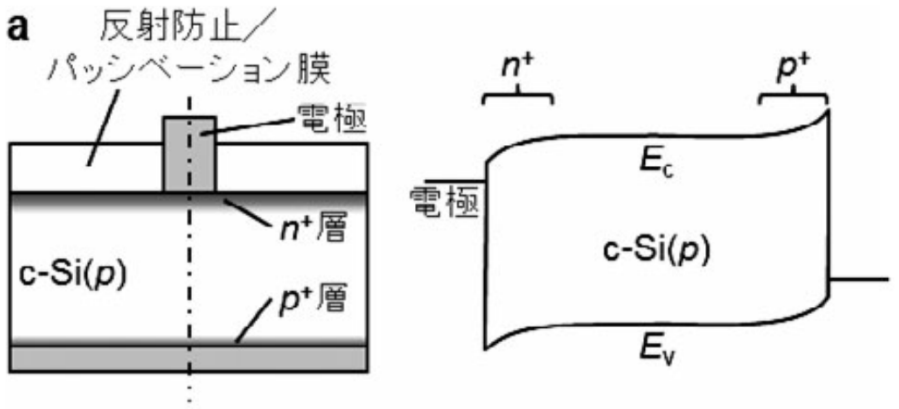
（1）神岡武文ほか、結晶シリコン太陽電池におけるパッシベーション技術、
J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

・結晶シリコン太陽電池の高効率化には，パッシベーション膜によるシリコン結晶表面における少数キャリア再結合の抑制が必要である.

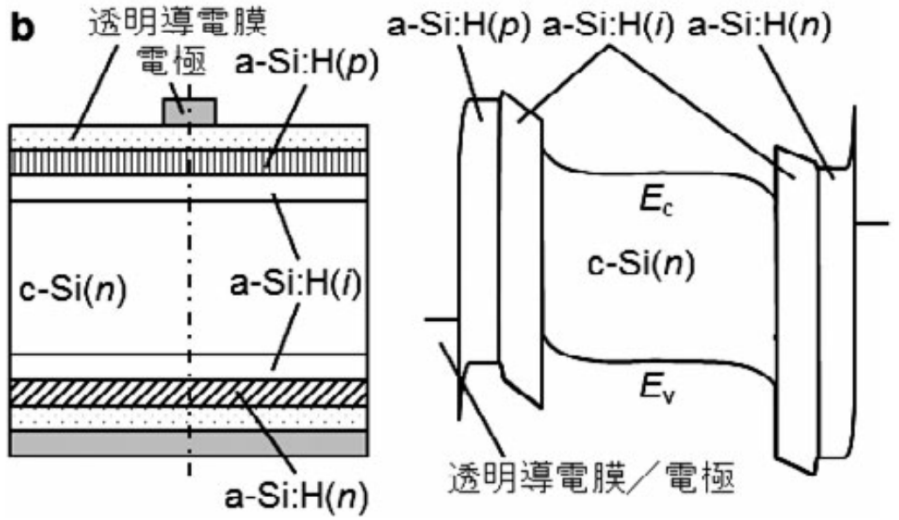
- 拡散系型の太陽電池のパッシベーション膜
  ⇒ プラズマCVD 法により堆積させたシリコン窒化膜
- ヘテロ接合型の太陽電池のパッシベーション膜
  ⇒ プラズマCVD 法により堆積させたアモルファスシリコン

（出典）神岡武文ほか、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

拡散系型の太陽電池



ヘテロ接合型の太陽電池



（出典）神岡武文ほか、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

「拡散系型の太陽電池のパッシベーション膜」

・今後の高効率化を考えるとき，プラズマCVD による基板表面へのプラズマダメージが問題の一つとして挙げられる.

・成膜工程で導入された結晶欠陥は基板表面から数nm－50 nm の深さに分布しており，キャリア再結合中心として働く.

・太陽電池表面にはテクスチャ構造と呼ばれるピラミッド状の構造が形成されており，その凸部ならびに凹部に結晶欠陥が集中する.

・この結晶欠陥層のキャリア再結合特性の評価や，結晶欠陥の導入抑制のために低ダメージのCVD 装置の開発が進められている.

（出典）神岡武文ほか、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

「拡散系型の太陽電池」のパッシベーション膜

・プラズマCVD 法により堆積されたシリコン窒化膜には，反射防止とパッシベーションの2つの異なる効果が期待される.

・屈折率はSiH4 とNH3 の流量比を変化させることで，約1.9 から3.0 まで制御される.

・光利用率の観点からは，屈折率が低い方が損失は小さい．その理由は，膜中での光吸収が小さく，反射率も抑えられるためである.

・パッシベーション効果の観点からは，屈折率が高い方が表面再結合速度は抑制される．この理由として，膜中の水素や界面でのシリコン結合の増加が界面準位密度を低下させるためと考えられている.

（出典）神岡武文ほか、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

ヘテロ接合型の太陽電池のパッシベーション膜

・プラズマCVD 法により堆積させた高抵抗のi 層は，高いパッシベーション効果を有している.

・720 mV 以上の高い開放電圧と高い変換効率が期待される。

・しかし，結晶シリコンヘテロ系太陽電池においてi 層に求められる役割はパッシベーション効果のみではない．その1つとして低い光吸収が挙げられる

・現在のヘテロ系結晶シリコン太陽電池に使用されているアモルファス膜の禁制帯幅は1.6－1.8 eV 程度である。

・光吸収量が多いにも関わらず，広い禁制帯幅の膜が使用されない理由は，本光吸収の問題よりも輸送特性に起因する曲線因子の低下の影響が大きいためである.

・本セル構造においては，パッシベーション品質と良好なキャリア輸送を両立する最適な膜厚が存在する．その値は4－7 nm であると報告されている

（出典）神岡武文ほか、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

ヘテロ接合型の太陽電池のパッシベーション膜

・プラズマCVD・・・13.56 MHz（Radio Frequency; RF）の高周波プラズマCVD 法が広く用いられている。

・プラズマ周波数，プラズマ出力，原料ガス流量比，基板温度などの成膜条件により，膜成長速度や膜質が大きく変化する．プラズマ出力を上げ，原料ガス供給量を増やせば，原料ガスの分解が促進され成膜速度は向上する．しかし，速い成膜速度では膜のパッシベーション性は低下する。

・高プラズマ出力では開放電圧が低下する．基板結晶へのプラズマダメージや，a-Si:H 膜中の欠陥濃度増加がその原因である。

・成膜時の基板温度を上げると，結晶欠陥量は低下するがa-Si:H 膜の結晶化の問題が生じる．そのため，通常の成膜温度は200℃以下である。

（出典）神岡武文ほか、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

ヘテロ接合型の太陽電池のパッシベーション膜

【今後のアモルファスシリコン系材料】

・光吸収係数が大きいなどのa-Si:H 膜の問題を回避するため，炭化物系（a-SiC:H），および，酸化物系（a-SiO:H）のアモルファスSi 材料の研究も進んでいる.

・これらはa-Si:Hより大きなバンドギャップを有しており、電流損失が少ない.

・a-SiC:H 膜は熱安定性に優れており，成膜後の高温プロセスに対する耐性が強い.

・また，a-SiO:H 膜は，a-Si:H成膜で問題となる結晶化を防ぐことができるともに、a-Si:H と同等のパッシベーション品質が実証されており、将来有望な材料である.

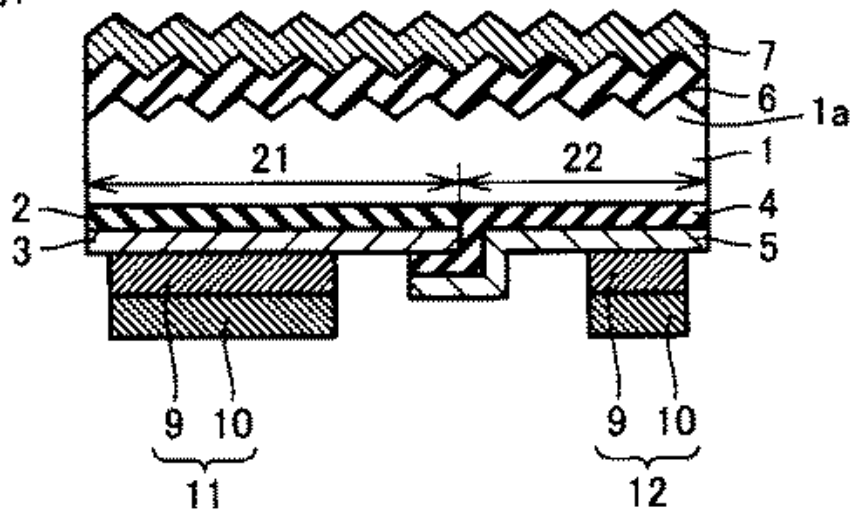
（出典）神岡武文ほか、J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.5 (2015)354-359

（2）岡本 親扶ほか、ヘテロ接合型バックコンタクトセルおよびヘテロ接合型バックコンタクトセルの製造方法、特開2015ー177176（シャープ）

【課題】高い変換効率を有するとともに、変換効率のばらつきを低減したヘテロ接合型バックコンタクトセルを提供する。

【解決手段】ヘテロ接合型バックコンタクトセルは、半導体基板1と、半導体基板の表面に設けられた第1のi型半導体膜2および第2のi型半導体膜4とを有している。第1のi型半導体膜2上にはp型半導体膜3が設けられており、第2のi型半導体膜4上にはn型半導体膜5が設けられている。半導体基板1の表面における第1のi型半導体膜2の設置面積である第1の設置面積と第2のi型半導体膜4の設置面積である第2の設置面積との和に対する第1の設置面積の比が0.5以上0．73以下である。

図1



（出典）特開2015ー177176

まず、図2に示すように、半導体基板1の受光面に凹凸1aを形成する。

次に、図3に示すように、半導体基板1の受光面の凹凸1a上に、第3のi型半導体膜6を形成する。

次に、図4に示すように、第3のi型半導体膜6上に、第2のn型半導体膜7を形成する。

（出典）特開2015―177176

図2

図3

図4

次に、図5に示すように、半導体基板1の裏面の全面に接するように第1のi型半導体膜2を形成する。

図5

次に、図6に示すように、半導体基板1の裏面の第1のi型半導体膜2上に第1のi型半導体膜2に接するようにp型半導体膜3を形成する。

図6

（出典）特開2015―177176

次に、図7に示すように、半導体基板1の裏面上に、第1のi型半導体膜2とp型半導体膜3との積層体を残す部分のみにフォトレジスト等のエッチングマスク31を形成する。

次に、図8に示すように、エッチングマスク31をマスクとして、第1のi型半導体膜2とp型半導体膜3との積層体51の一部を厚さ方向にウエットエッチングする。これにより、半導体基板1の裏面を露出させる。

（出典）特開2015―177176

図7

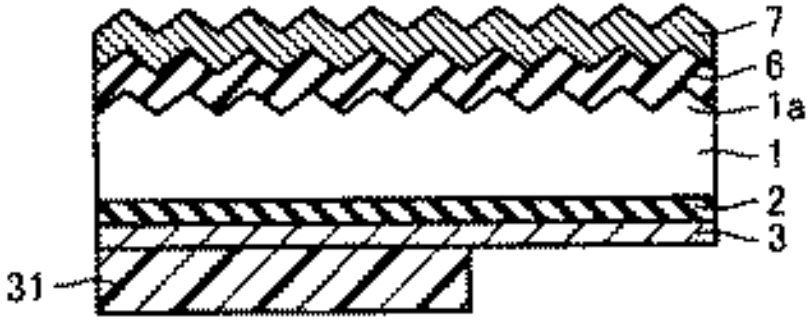
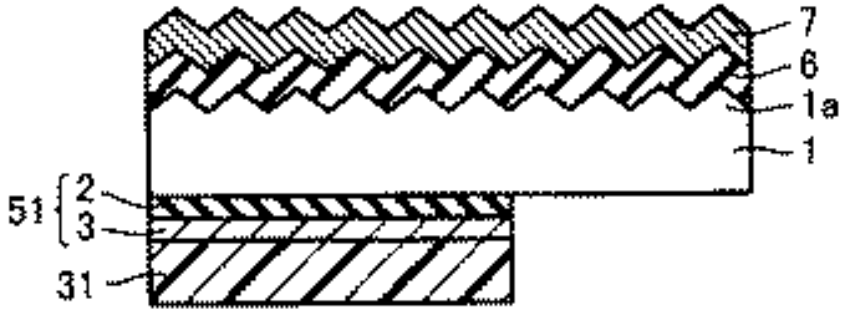
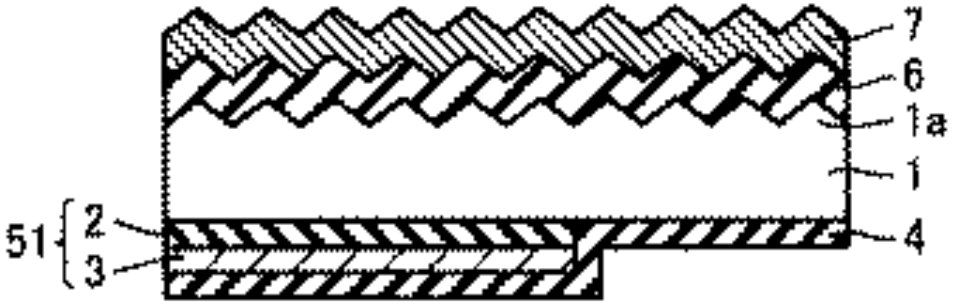


図8



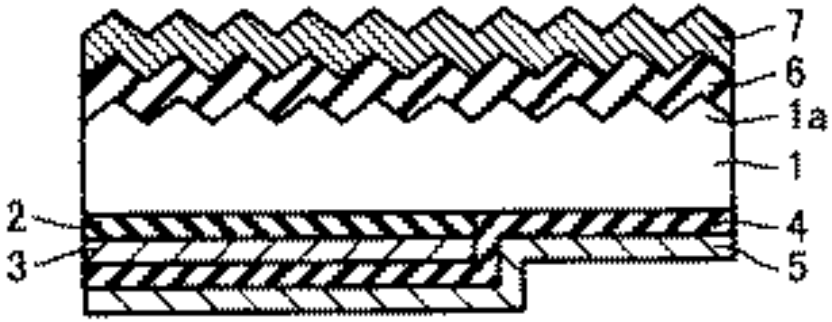
次に、図9に示すように、半導体基板1の裏面に接するとともに第1のi型半導体膜2とp型半導体膜3との積層体51を覆うように第2のi型半導体膜4を形成する。

図9



次に、図10に示すように、第2のi型半導体膜4上に第2のi型半導体膜4に接するようにn型半導体膜5を形成する。

図10



（出典）特開2015―177176

次に、図１１に示すように、半導体基板１の裏面上の第２のi型半導体膜４とn型半導体膜５との積層体５２を残す部分にのみフォトレジスト等のエッチングマスク３２を形成する。

次に、図１２に示すように、エッチングマスク３２をマスクとして、第２のi型半導体膜４とn型半導体膜５との積層体５２の一部を厚さ方向にウエットエッチングする。これにより、p型半導体膜３の表面の一部を露出させる。その後、図１３に示すように、エッチングマスク３２を除去する。

（出典）特開２０１５－１７７１７６

図11

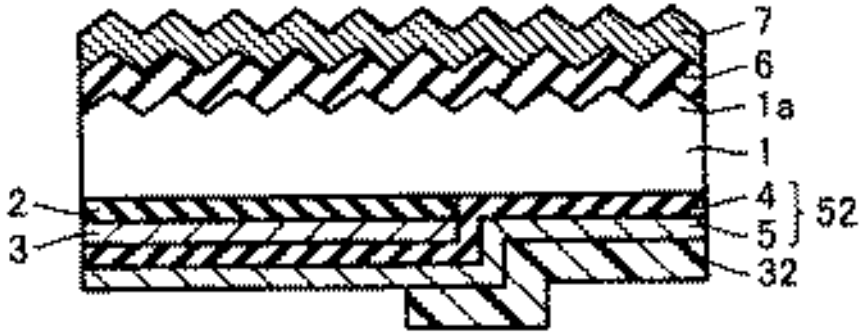
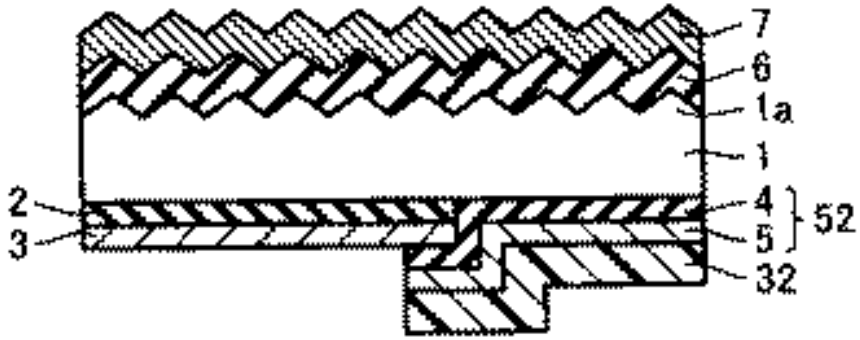
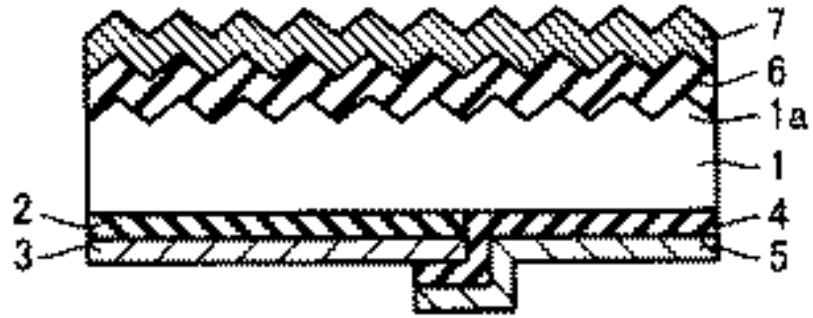


図12



その後、図13に示すように、
エッチングマスク32を除去する。

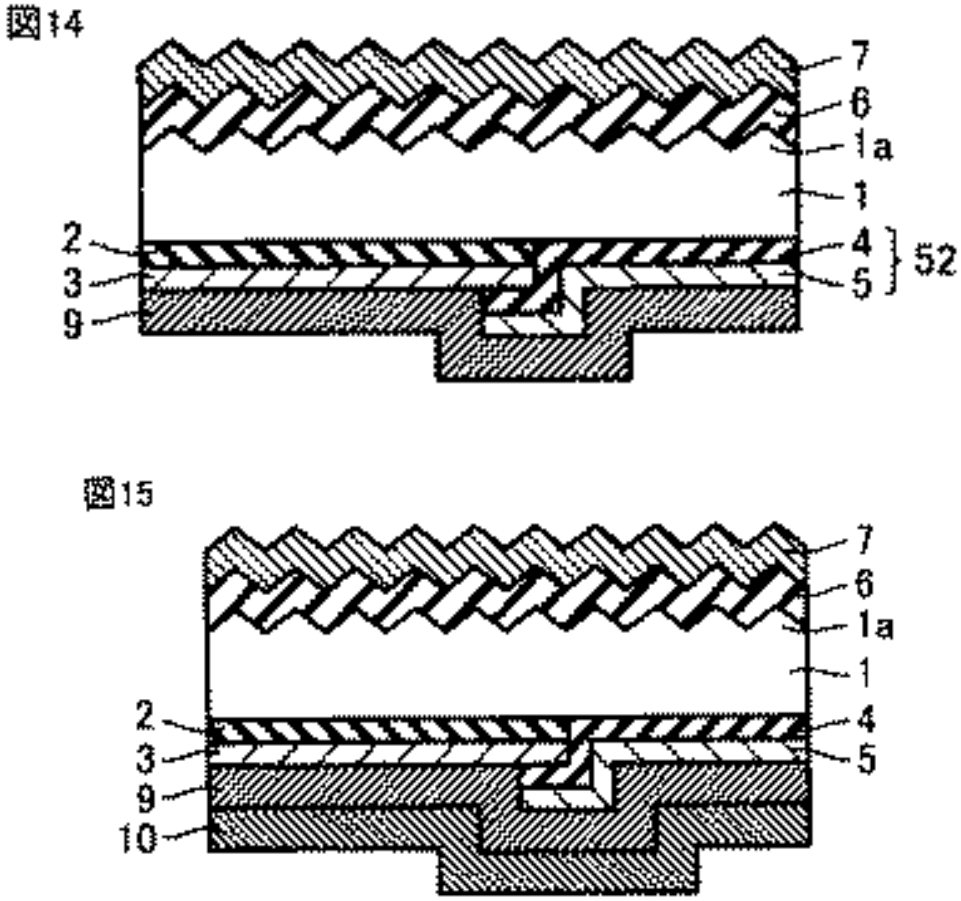
図13



（出典）特開2015―177176

次に、図１４に示すように、ｐ型半導体膜３の表面および第２のｉ型半導体膜４とｎ型半導体膜５との積層体５２を覆うように第１金属層９を形成する。第１金属層９としてはＩＴＯ（Indium Tin Oxide）膜を好適に用いることができるが、これに限定されない。

次に、図１５に示すように、第１金属層９上に第２金属層１０を形成する。第２金属層１０としては銀膜を好適に用いることができるが、これに限定されるものではない。



（出典）特開２０１５―１７７１７６

次に、図16に示すように、第2金属層10の表面上にフォトレジスト等のエッチングマスク33を形成する。

次に、図17に示すように、エッチングマスク33が形成されていない第1金属層9および第2金属層10の箇所をエッチングする。

なお、エッチングマスク33を用いたエッチングに代えて、たとえばレーザ光の照射によって、第1金属層9および第2金属層10を部分的に除去してもよい。

（出典）特開2015―177176

図16

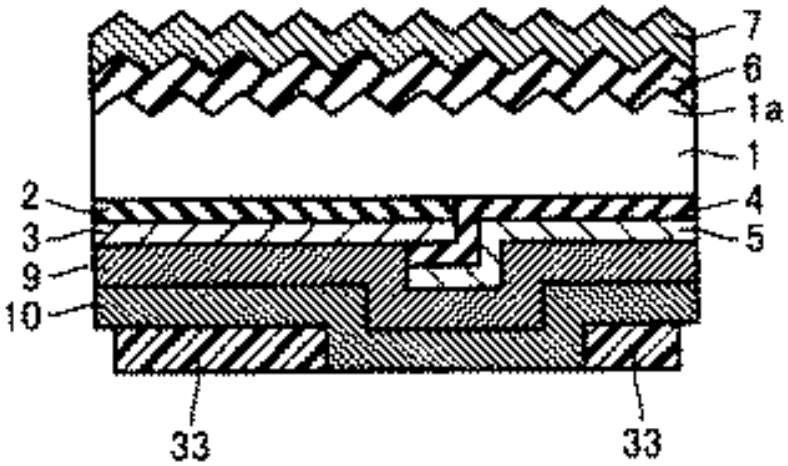
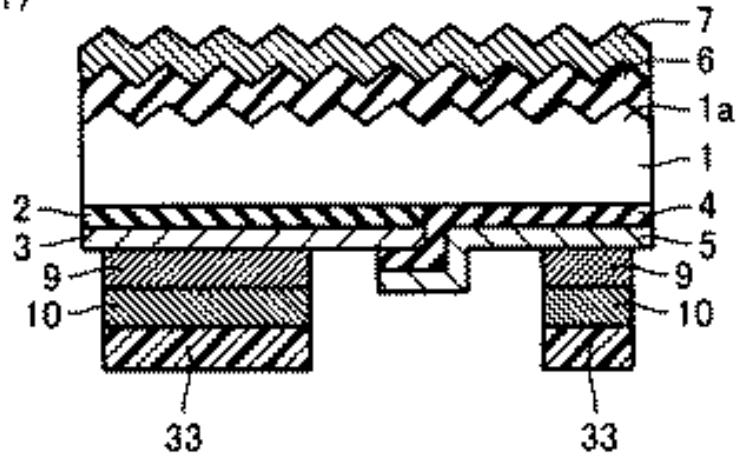


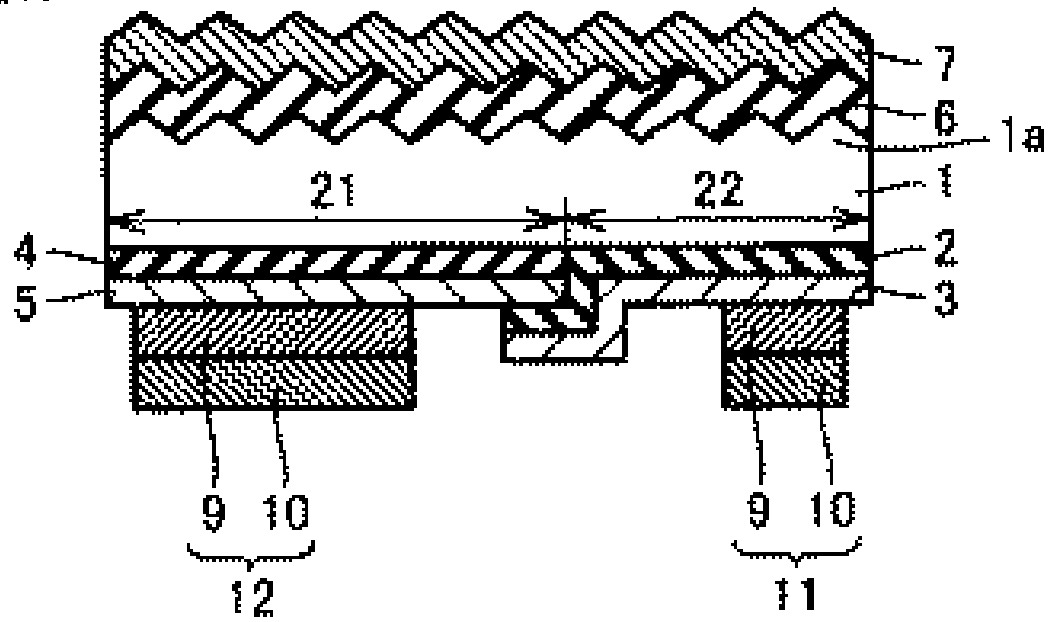
図17



その後、エッチングマスク33を除去することによって、

図1に示す構成の実施の形態1のヘテロ接合型バックコンタクトセルが完成する。

図18

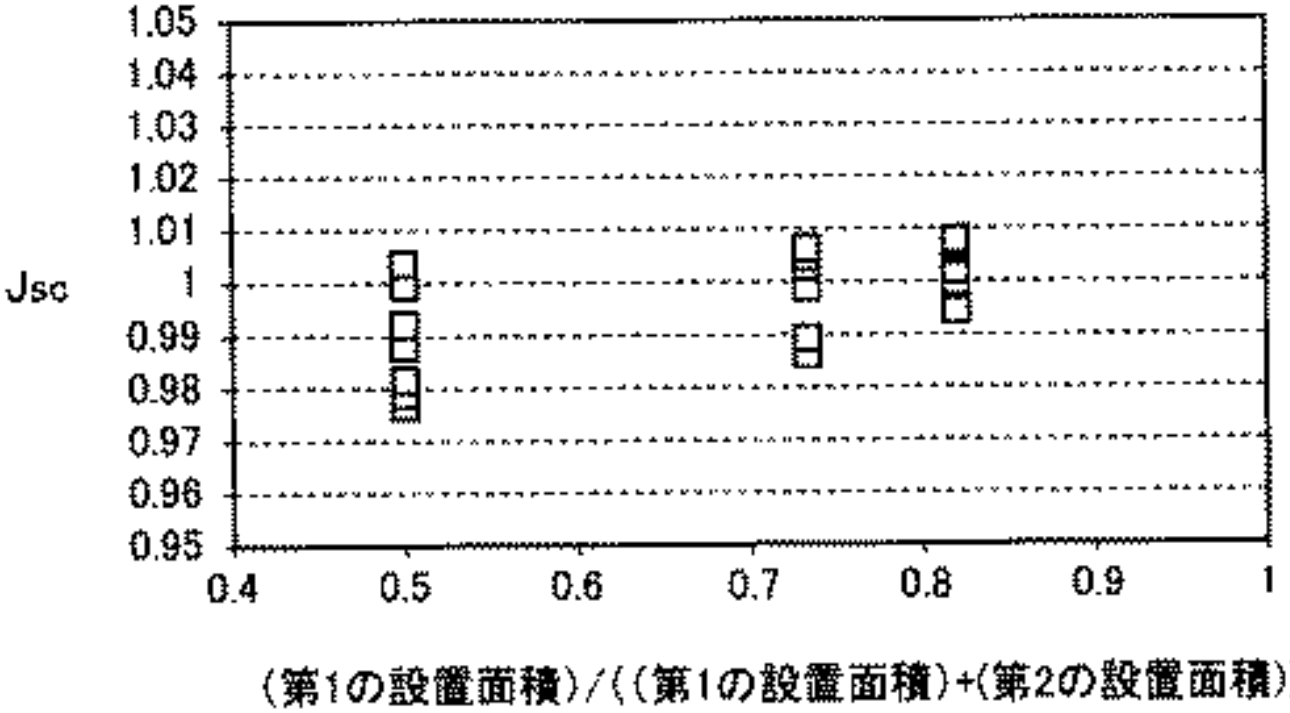


（出典）特開2015―177176

第１の設置面積と第２の設置面積との和に対する第１の設置面積の比と、J_{sc}の関係

（出典）特開2015ー177176

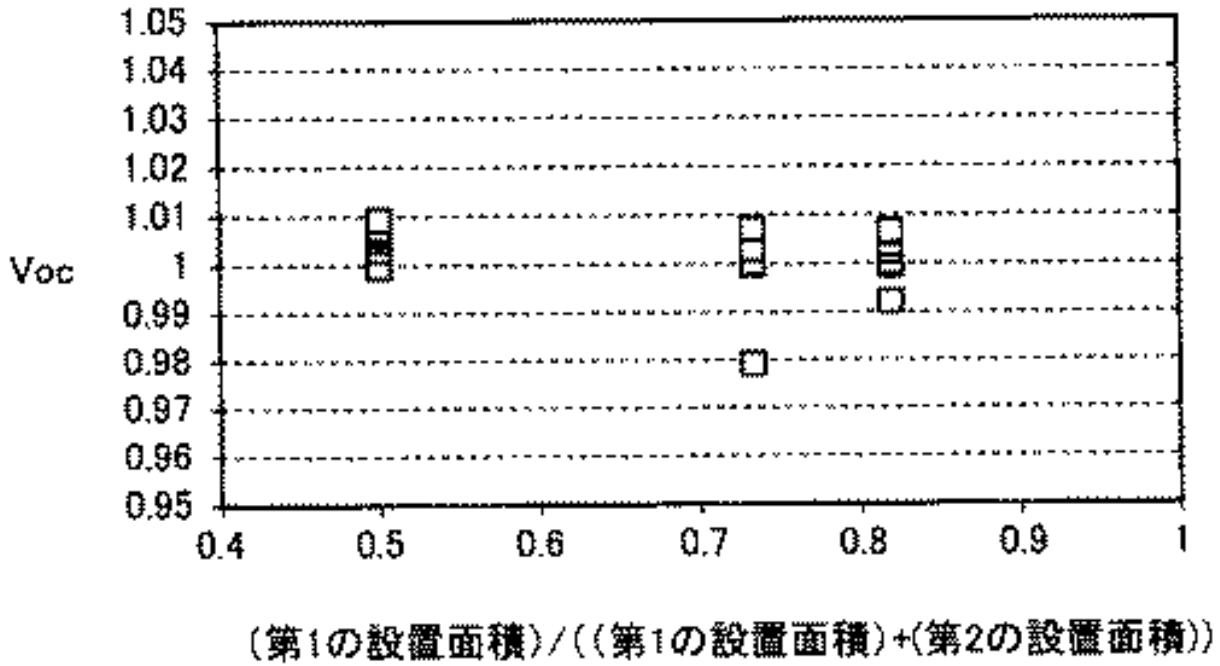
図22



第１の設置面積と第２の設置面積との和に対する第１の設置面積の比と、V_{oc}の関係

（出典）特開2015―177176

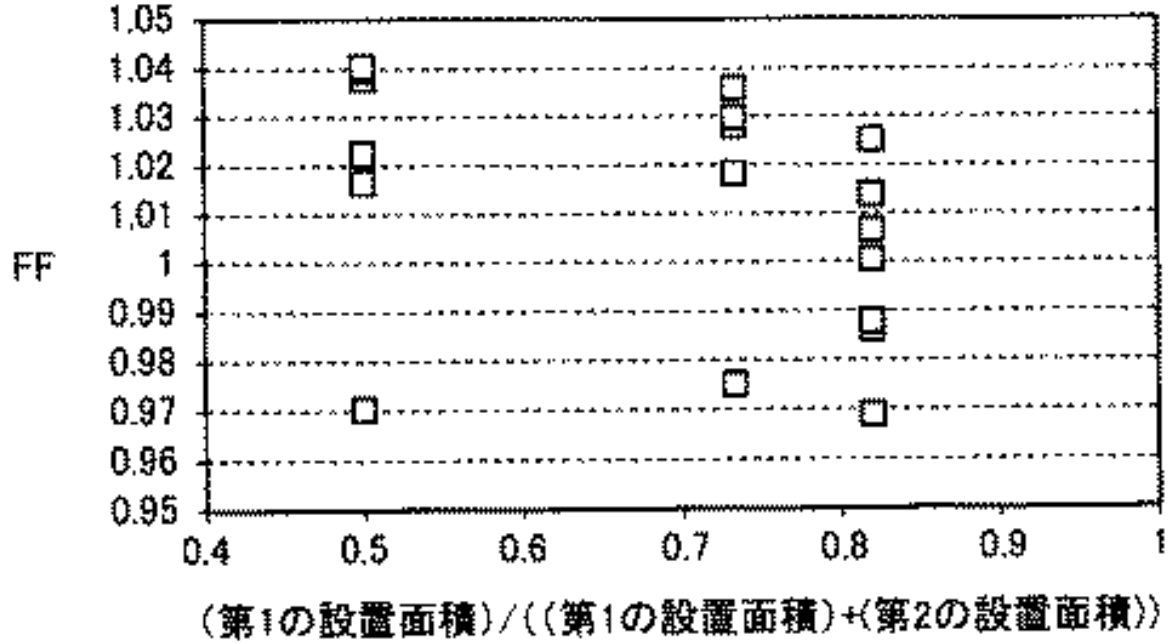
図23



第１の設置面積と第２の設置面積との和に対する第１の設置面積の比と、FFの関係

（出典）特開2015―177176

図24



第１の設置面積と第２の設置面積との和に対する第１の設置面積の比と、E_{ff}の関係

（出典）特開2015―177176

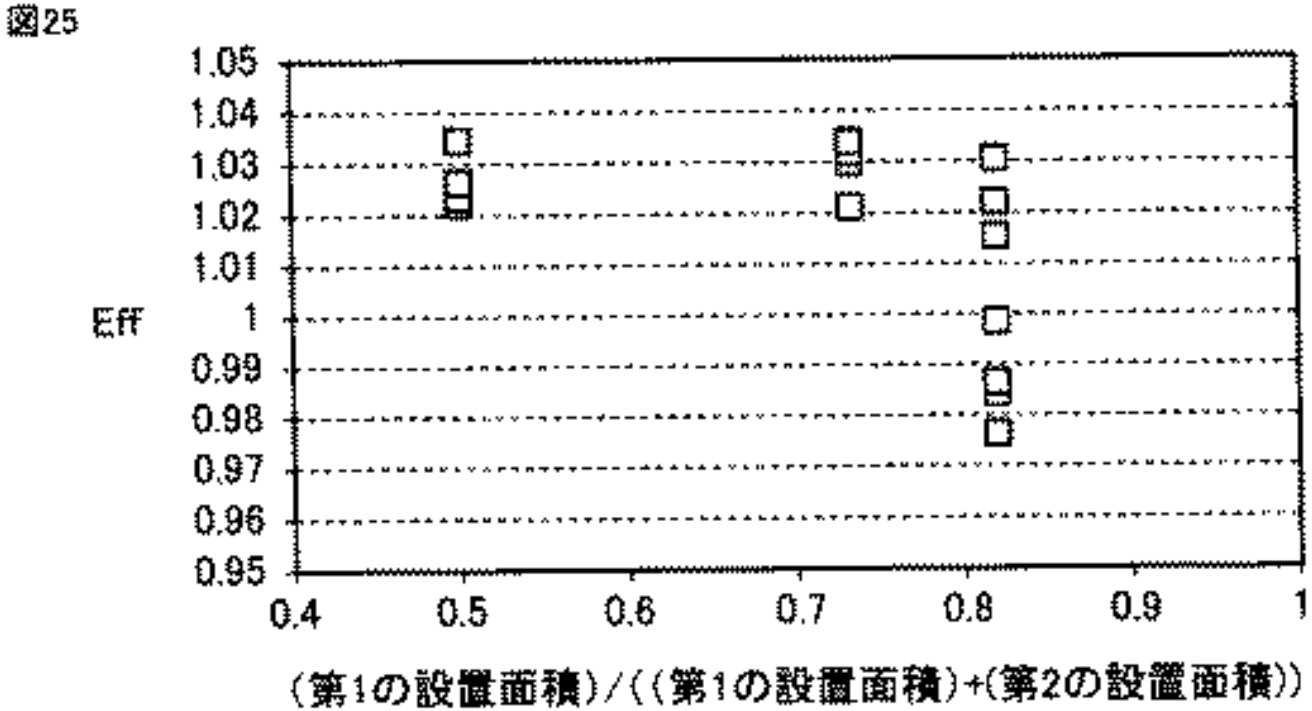


図22～図25の結果に関する考察

・第1の設置面積と第2の設置面積との和に対する第1の設置面積の比が少なくとも0．5以上0．73以下である場合には、高い変換効率を有するとともに、変換効率のばらつきを低減することができるヘテロ接合型バックコンタクトセルとすることができると考えられる。

・第1の設置面積と第2の設置面積との和に対する第1の設置面積の比が0．5未満である場合には、第1の設置面積が小さくなることによるJ_{sc}の低減分を第2の設置面積の増大によるFFおよびV_{oc}の向上分ではカバーすることができず、E_{ff}が急激に低下すると考えられる。

・第1の設置面積と第2の設置面積との和に対する第1の設置面積の比を0．67とした場合には、第1の設置面積の低減によるJ_{sc}の低減分のFFおよびV_{oc}の向上分によるカバーにより、当該比が0．73である場合と比べてE_{ff}がより向上すると考えられる。

（出典）特開2015―177176

＜作用効果＞

・従来、ヘテロ接合型バックコンタクトセルの技術分野においては、半導体基板の裏面のp領域の面積をできるだけ大きく設定した方が良いという考え方が通説とされてきた。⇒従来のパッシベーション膜は、酸化シリコン膜または窒化シリコン膜

・これは、ヘテロ接合型バックコンタクトセルで発生した電流はp領域から取り出す必要があることから、ヘテロ接合型バックコンタクトセルの特性を向上させるためには、できるだけp領域の面積を大きくして短絡電流密度J_{sc}を上げた方が良いと考えられてきたことによるものである。

（出典）特開2015―177176

＜作用効果＞

- 本発明者らが鋭意検討した結果、以下に示す理由によるものである。

・ヘテロ接合型バックコンタクトセルにおいては、半導体基板１の裏面のパッシベーションが　i型非晶質シリコン膜等のi型半導体膜からなる第１のi型半導体膜２および第２のi型半導体膜４によって行われており、

従来の酸化シリコン膜または窒化シリコン膜からなるパッシベーション膜と比べてパッシベーション性が向上することから、p領域の面積を小さくしてもp領域から十分に電流を取り出せることを見い出したことによるものである

（出典）特開2015―177176

＜作用効果＞

・半導体基板１の裏面におけるp領域の面積を小さくすることによって、n領域の面積を大きくすることができる。その結果、従来のヘテロ接合型バックコンタクトセルにおいては、n領域の面積が小さいために制限されてきたFF（フィルファクター）を向上させることができる。

これはn領域の面積の増大によって、半導体基板１の裏面における電極とのコンタクト抵抗が低い領域の面積を大きくすることができることによるものである。

・また、n領域の面積が増大することによって、半導体基板１の裏面においてパッシベーション性が高くなる領域の面積を大きくすることができる。

これにより、半導体基板１の内部におけるキャリアのライフタイムが向上するため、開放電圧V_{oc}が向上する。

（出典）特開2015―177176