

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3700979号
(P3700979)

(45) 発行日 平成17年9月28日(2005.9.28)

(24) 登録日 平成17年7月22日(2005.7.22)

(51) Int.Cl.⁷

F I

HO 1 M 8/04
 HO 1 L 21/3205
 HO 1 M 8/02
 HO 1 M 8/24
 // HO 1 M 8/10

HO 1 M 8/04 Z
 HO 1 M 8/02 B
 HO 1 M 8/02 Y
 HO 1 M 8/02 Z
 HO 1 M 8/24 Z

請求項の数 24 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-564966 (P2003-564966)
 (86) (22) 出願日 平成15年1月23日(2003.1.23)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2003/000618
 (87) 国際公開番号 W02003/065487
 (87) 国際公開日 平成15年8月7日(2003.8.7)
 審査請求日 平成16年5月21日(2004.5.21)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-19659 (P2002-19659)
 (32) 優先日 平成14年1月29日(2002.1.29)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005821
 松下電器産業株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地
 (74) 代理人 110000040
 特許業務法人池内・佐藤アンドパートナーズ
 (72) 発明者 森本 廉
 大阪府枚方市茄子作北町61-22
 (72) 発明者 森田 清之
 京都府八幡市八幡清水井45-1-303

審査官 高木 康晴

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料電池を備える半導体装置およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料電池と半導体素子とを備え、

前記燃料電池は、燃料の流路が形成された板状のアノードセパレータと、酸化剤の流路が形成された板状のカソードセパレータと、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータに挟持される膜電極接合体とを含み、

前記半導体素子は、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータから選ばれる1つのセパレータの一主面上に絶縁層を介して配置された半導体層に形成されており、前記半導体素子が形成されている1つのセパレータの一主面とは反対側の面に前記膜電極接合体が接しており、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータが前記膜電極接合体において発生した電力の集電体としての役割を担っており、

前記半導体素子と前記1つのセパレータとが電氣的に接続されている、
 燃料電池を備える半導体装置。

【請求項2】

第1および第2の半導体素子を含み、

前記第1の半導体素子が、前記アノードセパレータの一主面上に形成されており、

前記第2の半導体素子が、前記カソードセパレータの一主面上に形成されている請求項1に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項3】

前記1つのセパレータが、半導体基板で形成されている請求項1に記載の燃料電池を備え

10

20

る半導体装置。

【請求項 4】

前記半導体基板が、結晶シリコンからなる請求項 3 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 5】

前記半導体基板が、III b 族元素および V b 族元素を含む化合物半導体からなる請求項 3 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 6】

前記半導体基板が、II b 族元素および VI b 族元素を含む化合物半導体からなる請求項 3 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

10

【請求項 7】

前記アノードセパレータが n 形半導体基板で形成されており、前記カソードセパレータが p 形半導体基板で形成されている請求項 3 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 8】

前記 1 つのセパレータと前記膜電極接合体との間に、前記 1 つのセパレータと前記膜電極接合体との接触抵抗を低減させるコンタクト層が配置されている請求項 3 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 9】

前記半導体素子が形成されている 1 つのセパレータの一主面と、前記膜電極接合体が接している反対側の面とが、前記絶縁層中に形成された電極を介して電氣的に接続され、前記膜電極複合体からの電流が前記半導体素子に供給される請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

20

【請求項 10】

前記絶縁層が、 SiO_2 からなる請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 11】

前記絶縁層の比抵抗が、 $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上である請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 12】

前記絶縁層の厚さが、 $10 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$ の範囲である請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

30

【請求項 13】

前記 1 つのセパレータが、金属からなる請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 14】

前記絶縁層が、前記金属の酸化膜からなる請求項 13 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 15】

前記半導体素子は、第 1 の電極および第 2 の電極を含み、
前記第 1 の電極と前記アノードセパレータとが電氣的に接続しており、
前記第 2 の電極と前記カソードセパレータとが電氣的に接続している請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

40

【請求項 16】

前記半導体素子が、n チャネル MOS トランジスタであり、前記 n チャネル MOS トランジスタのソース電極および基板電極が前記アノードセパレータと電氣的に接続しており、ドレイン電極およびゲート電極が前記カソードセパレータと電氣的に接続している請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 17】

前記半導体素子が、p チャネル MOS トランジスタであり、前記 p チャネル MOS トランジスタのソース電極およびゲート電極が前記アノードセパレータと電氣的に接続しており、ドレイン電極および基板電極が前記カソードセパレータと電氣的に接続している請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

50

【請求項 18】

前記燃料電池は、前記アノードセパレータと前記カソードセパレータと前記膜電極接合体とを含むセルが複数積層されている請求項 1 に記載の燃料電池を備える半導体装置。

【請求項 19】

燃料電池と半導体素子とを備え、

前記燃料電池は、燃料の流路が形成された板状のアノードセパレータと、酸化剤の流路が形成された板状のカソードセパレータと、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータに挟持される膜電極接合体とを含み、

前記半導体素子は、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータから選ばれる 1 つのセパレータの一主面上に絶縁層を介して配置された半導体層に形成されており、

前記半導体素子が形成されている 1 つのセパレータの一主面とは反対側の面に前記膜電極接合体が接しており、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータが前記膜電極接合体において発生した電力の集電体としての役割を担っており、

前記半導体素子と前記 1 つのセパレータとが電氣的に接続されている、燃料電池を備える半導体装置の製造方法であって、

(i) 半導体基板の一方の面上に前記半導体素子を形成する工程と、

(ii) 前記半導体基板における前記一方の面とは反対側の面に、燃料または酸化剤が流れる前記流路を形成する工程と、

(iii) 前記半導体基板を前記一対のセパレータから選ばれる前記 1 つのセパレータとして、前記流路が形成された面と前記膜電極接合体とが接するように前記半導体基板上に前記膜電極接合体を積層する工程とを含む、

燃料電池を備える半導体装置の製造方法。

【請求項 20】

前記半導体基板が、前記一方の面と前記反対側の面との間に絶縁層を備えている請求項 19 に記載の燃料電池を備える半導体装置の製造方法。

【請求項 21】

前記 (i) の工程が、

(a) 前記半導体素子と前記半導体基板とが前記絶縁層中に形成された電極を介して電氣的に接続するように、前記絶縁層上に前記半導体素子を形成する工程を含む請求項 20 に記載の燃料電池を備える半導体装置の製造方法。

【請求項 22】

燃料電池と半導体素子とを備え、

前記燃料電池は、燃料の流路が形成された板状のアノードセパレータと、酸化剤の流路が形成された板状のカソードセパレータと、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータに挟持される膜電極接合体とを含み、

前記半導体素子は、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータから選ばれる 1 つのセパレータの一主面上に絶縁層を介して配置された半導体層に形成されており、

前記半導体素子が形成されている 1 つのセパレータの一主面とは反対側の面に前記膜電極接合体が接しており、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータが前記膜電極接合体において発生した電力の集電体としての役割を担っており、

前記半導体素子と前記 1 つのセパレータとが電氣的に接続されている、燃料電池を備える半導体装置の製造方法であって、

(I) 半導体基板の一方の面に、燃料または酸化剤が流れる前記流路を形成する工程と、

(II) 前記半導体基板における前記流路が形成された面とは反対側の他方の面上に前記半導体素子を形成する工程と、

(III) 前記半導体基板を前記一対のセパレータから選ばれる前記 1 つのセパレータとして、前記流路が形成された面と前記膜電極接合体とが接するように前記半導体基板上に前記膜電極接合体を積層する工程とを含む、

燃料電池を備える半導体装置の製造方法。

【請求項 23】

前記半導体基板が、前記一方の面と前記他方の面との間に絶縁層を備えている請求項 2 2 に記載の燃料電池を備える半導体装置の製造方法。

【請求項 2 4】

前記 (11) の工程が、

(A) 前記半導体素子と前記半導体基板とが前記絶縁層中に形成された電極を介して電氣的に接続するように、前記絶縁層上に前記半導体素子を形成する工程を含む請求項 2 3 に記載の燃料電池を備える半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、燃料電池を備える半導体装置およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、半導体素子を備えるデバイスである半導体装置は、電子機器などの様々な分野で広く用いられており、その用途はますます拡大し続けている。また、近年、マイクロマシンなどに代表される微小な半導体装置が注目を集めている。

【0003】

このような半導体装置自体が電源を備えれば（即ち、電源を備える半導体装置であれば）、より汎用性に優れる半導体装置とすることができる。その場合、電源としてリチウム電池など一般的に使用されている二次電池を用いることもできる。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、現在の二次電池の技術では、出力特性上、半導体素子に比べてかなり大きいサイズの電源が必要である。このため、電源を備える半導体装置の小型化には限界がある。また、電池が消耗した場合、充電または交換する必要があるため、汎用性の点でも問題がある。さらに、二次電池のリサイクルは、将来、大変な社会問題となることが予想される。このような状況から、よりコンパクトで汎用性に優れた、電源を備える半導体装置の実現が望まれている。

【0005】

30

そこで本発明は、コンパクトで汎用性に優れた、電源として燃料電池を備える半導体装置と、その製造方法と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】

【0006】

上記目的を達成するために、本発明の燃料電池を備える半導体装置（以下、単に「半導体装置」ともいう）は、燃料電池と半導体素子とを備え、

前記燃料電池は、燃料の流路が形成された板状のアノードセパレータと、酸化剤の流路が形成された板状のカソードセパレータと、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータに挟持される膜電極接合体とを含み、

前記半導体素子は、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータから選ばれる 1 つのセパレータの一主面上に絶縁層を介して配置された半導体層に形成されており、

40

前記半導体素子が形成されている 1 つのセパレータの一主面とは反対側の面に前記膜電極接合体が接しており、前記アノードセパレータおよび前記カソードセパレータが前記膜電極接合体において発生した電力の集電体としての役割を担っており、
前記半導体素子と前記 1 つのセパレータとが電氣的に接続されている。

【0007】

上記半導体装置では、第 1 および第 2 の半導体素子を含み、

前記第 1 の半導体素子が、前記アノードセパレータの一主面上に形成されており、

前記第 2 の半導体素子が、前記カソードセパレータの一主面上に形成されていてもよい。

【0008】

50

上記半導体装置では、前記１つのセパレータが、半導体基板で形成されていてもよい。

【０００９】

上記半導体装置では、前記半導体基板が、結晶シリコンからなる半導体基板であってもよい。

【００１０】

上記半導体装置では、前記半導体基板が、IIIb族元素およびVb族元素を含む化合物半導体からなる半導体基板であってもよい。

【００１１】

上記半導体装置では、前記半導体基板が、IIb族元素およびVIb族元素を含む化合物半導体からなる半導体基板であってもよい。

10

【００１２】

上記半導体装置では、前記アノードセパレータがn形半導体基板で形成されており、前記カソードセパレータがp形半導体基板で形成されていてもよい。

【００１３】

上記半導体装置では、前記１つのセパレータと前記膜電極接合体との間に、前記１つのセパレータと前記膜電極接合体との接触抵抗を低減させるコンタクト層が配置されていてもよい。

【００１５】

上記半導体装置では、前記半導体素子と前記１つのセパレータとが、前記絶縁層中に形成された電極を介して電氣的に接続されていてもよい。

20

【００１６】

上記半導体装置では、前記絶縁層が、SiO₂からなる絶縁層であってもよい。

【００１７】

上記半導体装置では、前記絶縁層の比抵抗が、 $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上であってもよい。

【００１８】

上記半導体装置では、前記絶縁層の厚さが、 $10 \text{ nm} \sim 1 \mu\text{m}$ の範囲であってもよい。

【００１９】

上記半導体装置では、前記１つのセパレータが、金属からなるセパレータであってもよい。

【００２０】

上記半導体装置では、前記絶縁層が、前記金属の酸化膜からなる絶縁層であってもよい。

30

【００２１】

上記半導体装置では、前記半導体素子は、第１の電極および第２の電極を含み、前記第１の電極と前記アノードセパレータとが電氣的に接続しており、前記第２の電極と前記カソードセパレータとが電氣的に接続していてもよい。

【００２２】

上記半導体装置では、前記半導体素子が、nチャネルMOSトランジスタであり、前記nチャネルMOSトランジスタのソース電極および基板電極が前記アノードセパレータと電氣的に接続しており、ドレイン電極およびゲート電極が前記カソードセパレータと電氣的に接続していてもよい。

40

【００２３】

上記半導体装置では、前記半導体素子が、pチャネルMOSトランジスタであり、前記pチャネルMOSトランジスタのソース電極およびゲート電極が前記アノードセパレータと電氣的に接続しており、ドレイン電極および基板電極が前記カソードセパレータと電氣的に接続していてもよい。

【００２４】

上記半導体装置では、前記燃料電池は、前記アノードセパレータと前記カソードセパレータと前記膜電極接合体とを含むセルが複数積層されていてもよい。

【００２５】

上記燃料電池を備える半導体装置の製造方法は、

50

(i) 半導体基板の一方の面上に前記半導体素子を形成する工程と、
(ii) 前記半導体基板における前記一方の面とは反対側の面に、燃料または酸化剤が流れる前記流路を形成する工程と、
(iii) 前記半導体基板を前記一対のセパレータから選ばれる前記 1 つのセパレータとして、前記流路が形成された面と前記膜電極接合体とが接するように前記半導体基板上に前記膜電極接合体を積層する工程とを含んでいる。

【 0 0 2 6 】

上記製造方法では、前記半導体基板が、前記一方の面と前記反対側の面との間に絶縁層を備えていてもよい。

【 0 0 2 7 】

上記製造方法では、前記 (i) の工程が、

(a) 前記半導体素子と前記半導体基板とが前記絶縁層中に形成された電極を介して電氣的に接続するように、前記絶縁層上に前記半導体素子を形成する工程を含んでいてもよい。

【 0 0 2 8 】

上記燃料電池を備える半導体装置の別の製造方法は、

(I) 半導体基板の一方の面に、燃料または酸化剤が流れる前記流路を形成する工程と、
(II) 前記半導体基板における前記流路が形成された面とは反対側の他方の面上に前記半導体素子を形成する工程と、

(III) 前記半導体基板を前記一対のセパレータから選ばれる前記 1 つのセパレータとして、前記流路が形成された面と前記膜電極接合体とが接するように前記半導体基板上に前記膜電極接合体を積層する工程とを含んでいる。

【 0 0 2 9 】

上記製造方法では、前記半導体基板が、前記一方の面と前記他方の面との間に絶縁層を備えていてもよい。

【 0 0 3 0 】

上記製造方法では、前記 (II) の工程が、

(A) 前記半導体素子と前記半導体基板とが前記絶縁層中に形成された電極を介して電氣的に接続するように、前記絶縁層上に前記半導体素子を形成する工程を含んでいてもよい。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 1 】

以下、本発明の実施の形態について説明する。なお、以下の実施の形態において、同一の部分については同一の符号を付して重複する説明を省略する場合がある。

【 0 0 3 2 】

(実施の形態 1)

図 1 は、本発明における、燃料電池を備える半導体装置（以下、半導体装置、ともいう）の一例を示す模式断面図である。図 1 に示す半導体装置は、燃料電池 1 と半導体素子 2 とを備えている。燃料電池 1 は、燃料の流路 1 1 が形成されたアノードセパレータ 1 2 と、酸化剤の流路 1 3 が形成されたカソードセパレータ 1 4 と、アノードセパレータ 1 2 およびカソードセパレータ 1 4 に挟持される膜電極接合体（MEA）1 5 とを含んでいる。また、半導体素子 2 は、アノードセパレータ 1 2 およびカソードセパレータ 1 4 から選ばれる 1 つのセパレータの一主面上に形成されており（図 1 に示す例では、アノードセパレータ 1 2 の一主面上に形成）、半導体素子 2 と上記 1 つのセパレータ（即ち、図 1 におけるアノードセパレータ 1 2 ）とが電氣的に接続されている。

【 0 0 3 3 】

このような半導体装置では、燃料電池と半導体素子とが一体化しており、また、電源である燃料電池は、エネルギー密度が高く（例えば、代表的な二次電池であるリチウム二次電池と比べて 1 桁以上大きくできる）、消耗に伴う充電、交換などが不要であり、燃料を供給すれば速やかに発電を開始できるなどの特徴を有することから、コンパクトで汎用性に

10

20

30

40

50

優れる半導体装置とすることができる。また、基本的に、燃料を補給する限り発電できるため、二次電池に比べてリサイクルの問題を小さくすることができる。

【0034】

また、図1に示す例では、半導体素子2は、上記1つのセパレータであるアノードセパレータ12の一面上に配置された絶縁層3上に形成されており（即ち、半導体素子2と上記1つのセパレータとの間には、絶縁層3が形成されており）、半導体素子2と上記1つのセパレータとが、絶縁層3中に形成された電極4を介して電氣的に接続されている。

【0035】

このように、半導体素子2と上記1つのセパレータとの間に絶縁層3を配置する（図1に示す例では、半導体素子2を絶縁層3上に形成することによって、半導体素子の面積を縮小させ、半導体素子の集積度をより大きくすることができる。また、電源電圧が1V以下の低電圧領域でも高速動作が可能で、いわゆるSOI（Silicon On Insulator）トランジスタを構成することができる。このようなSOIトランジスタは、既に、腕時計などに実用化、商品化されているが、1V以下で動作することから、燃料電池1が単セル（Single Cell）の場合にも駆動が可能である。また、半導体素子2の消費電力を低減することも可能となるため、より長時間回路を動作させることができ、よりコンパクトで汎用性に優れた半導体装置とすることができる。さらに、絶縁層は一般に熱伝導率が低いため、燃料電池1で発生した熱が、半導体素子2に伝導するのを抑制することもできる。

【0036】

次に、図1に示す半導体装置における燃料電池1について説明する。

【0037】

燃料電池1は、MEA15をアノードセパレータ12およびカソードセパレータ14で挟持した構造を含んでいる。アノードセパレータ12には燃料の流路11が、カソードセパレータ14には酸化剤の流路13が形成されている。MEA15は、それぞれのセパレータにおける上記流路が形成された面と接していればよい。流路11および流路13を介して燃料および酸化剤がMEA15に供給されることによって、発電が行われる。また、アノードセパレータ12およびカソードセパレータ14は、MEA15において発生した電力の集電体としての役割も担っている。

【0038】

MEA15としては、燃料および酸化剤を供給することによって発電が可能であれば、その構造、材料、サイズ、形状などは特に限定されない。発電に用いる燃料や酸化剤の種類、発電を行う温度領域、必要とする発電特性などに応じて任意に設定すればよい。MEA15の構造としては、例えば、高分子電解質からなる膜151の両面に、アノード電極152およびカソード電極153を塗付または印刷した構造とすればよい。その他、必要に応じて拡散層など任意の層をMEA中に付加してもよい。

【0039】

MEA15の材料としては、例えば、燃料として水素ガス、酸化剤として空気を用いる場合、膜151としてパーフルオロエチレンスルホン酸系ポリマーなどの水素イオン伝導性を有する高分子電解質を、アノード電極152およびカソード電極153として白金の微粒子を含むカーボン材料などを用いればよい。この場合、燃料電池1はいわゆるPEFC（Poly Electrolyte Fuel Cell）であり、比較的低温の領域（例えば、0～100の範囲）において発電することができる。発電温度を、例えば、80以下に設定すれば半導体素子2への熱の影響も最小限に抑制することができる。また、PEFCは、燃料電池の中でも特にエネルギー密度が大きく、必要な電力をより小型の燃料電池で得ることができるため、よりコンパクトで汎用性に優れた半導体装置とすることができる。

【0040】

燃料電池1に供給する燃料および酸化剤については、燃料電池1が発電できる限り、特に限定されない。発電を行う温度領域、必要とする発電特性などに応じて任意に設定すれば

10

20

30

40

50

よい。酸化剤としては、例えば、空気を用いればよい。燃料としては、例えば、水素などの気体だけではなく、メタノールなどの液体を用いてもよい。燃料としてメタノールを用いた場合、燃料電池 1 は、PEFC の 1 種である DMFC (Direct Methanol Fuel Cell) となる。この場合、燃料として水素などの気体を用いる場合に比べて、燃料の供給をより容易に行うことができる。

【0041】

また、燃料電池 1 に対する燃料および酸化剤の供給方法としては、特に限定されない。例えば、それぞれのセパレータの流路にポンプなどのデバイスを用いて供給すればよい。また、酸化剤として空気を用いる場合、カソードセパレータの流路を大気開放としてもよい。上記流路を大気開放とした場合の例については、実施の形態 3 に後述する。

10

【0042】

図 1 に示す半導体装置において、アノードセパレータ 12 に用いる材料としては、集電体として機能し（即ち、ある程度以上の導電性を有し）、かつ、その一主面上に絶縁層 3 を形成することができる限り、特に限定されない。なお、集電体として機能するためには、比抵抗にして、例えば、 $100\ \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の範囲の材料を用いればよい。具体的には、例えば、グラファイトなどのカーボンからなる基板や、ステンレスなどの金属からなる基板、半導体基板などを用いてアノードセパレータ 12 を形成すればよい。

【0043】

また、カソードセパレータ 14 に用いる材料としては、集電体として機能すれば（即ち、上述のように、ある程度以上の導電性を有すれば）、特に限定されない。具体的には、例えば、グラファイトなどのカーボンからなる基板や、ステンレスなどの金属からなる基板、半導体基板などを用いてカソードセパレータ 14 を形成すればよい。なお、アノードセパレータ 12 およびカソードセパレータ 14 に用いる材料は、同一であってもよいし異なってもよい。

20

【0044】

アノードセパレータ 12 であるかカソードセパレータ 14 であるかに関わらず、セパレータに用いる半導体基板としては、例えば、結晶シリコンからなる半導体基板を用いればよい。ただし、純粋な結晶シリコンを用いた場合は、集電体として十分な導電性を有しない場合が考えられる。その場合は、例えば、IIb 族元素、IIIB 族元素、VB 族元素、VIB 族元素などの不純物をドーピングするなどによって導電性を増加させた半導体基板とすればよい。なお、上記不純物のドーピングは、半導体基板全体に行ってもよいし、必要な部分のみに行ってもよい。

30

【0045】

結晶シリコンに不純物をドーピングさせた場合、不純物の種類によって、n 形または p 形の導電型を有する半導体基板となる。セパレータとしては、上記導電型に左右されず、p 形、n 形のどちらを用いてもよい。アノードセパレータおよびカソードセパレータの導電型は、同じ導電型であってもよいし異なる導電型であってもよい。

【0046】

なかでも、アノードセパレータ 12 が n 形半導体基板で形成されており、カソードセパレータ 14 が p 形半導体基板で形成されていることが好ましい。この場合、アノードからカソードへの電子の流れをよりスムーズにすることができるため、燃料電池 1 の特性をより向上させることができる。よって、より汎用性に優れた半導体装置とすることができる。

40

【0047】

その他、半導体基板としては、例えば、GaN、GaP、GaAs などの IIIB 族元素および VB 族元素を含む化合物半導体からなる基板を用いてもよい。また、ZnS、ZnSe などの IIB 族元素および VIB 族元素を含む化合物半導体からなる基板を用いてもよい。

【0048】

セパレータを半導体基板で形成すれば、半導体加工プロセスを応用することによって流路などを微細加工することができるため、例えば、全体の厚さが $1.5\ \text{mm}$ にも満たないような薄型の燃料電池を形成することも可能である。また、半導体基板は化学的にも安定で

50

あり、PEFCにおいて強酸性の雰囲気下にあると考えられる燃料の流路においても、セパレータの腐食を最小限に抑制することができる。また、燃料は半導体基板を透過しないため、微細なセパレータを形成した場合でも、セパレータを介した燃料のリークを最小限に抑制することができる。さらに、製造にあたっては既存の半導体加工プロセスを利用することができるため、半導体素子と一体的に形成することも可能となり、より生産性よく半導体装置を製造できる。

【0049】

また、なかでも結晶シリコンは、原料のシリコンが地球資源として豊富であり、人体に無害、安価であるなど様々なメリットを有している。さらに、結晶シリコンからなる半導体基板は、厚さ均一性および表面平坦度に優れており、シリコン極微細加工技術との組み合わせにより、極めて精密に加工することができる。また、大口径シリコンウェハを半導体プロセスラインで一括処理すれば、同一ウェハ上に大量のセパレータを同時に形成することも可能であるため、より低コストでセパレータを製造できる。

【0050】

また、市販されている結晶シリコン基板には、例えば、比抵抗が約 $10\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ 以下の基板がある。このような基板でセパレータを形成した場合、例えばセパレータの厚さを $650\text{ }\mu\text{m}$ とすると、単位面積当たりのセパレータの抵抗値は約 $65\text{ m}\Omega/\text{cm}^2$ となる（接触抵抗は考慮しない）。よって、結晶シリコン基板で形成されたセパレータは、燃料電池の集電体として十分に機能できることがわかる。例えば、電流密度 $100\text{ mA}/\text{cm}^2$ の電流を出力する場合、セパレータにおける抵抗過電圧は約 6.5 mV であり、燃料電池の出力電圧（例えば、燃料に水素を用いた場合、開放電圧（OCV）は約 1.1 V である）に比べると十分に小さいといえる。

【0051】

図1に示す半導体装置において、アノードセパレータ12およびカソードセパレータ14の厚さとしては、燃料および酸化剤の流路を形成することができる限り、特に限定されない。セパレータを半導体基板で形成する場合、例えば、 $10\text{ }\mu\text{m}\sim 1\text{ mm}$ の範囲である。具体的には、例えば、一般的な6インチシリコン基板を用いてセパレータを形成する場合、セパレータの厚さは約 $650\text{ }\mu\text{m}$ となる。

【0052】

また、燃料および酸化剤の流路の大きさ、形状や、セパレータの面積に占める流路の割合などは、MEAに燃料および酸化剤を供給できる限り、特に限定されない。セパレータ自体の厚さ、必要な発電特性などに応じて任意に設定すればよい。例えば、図1に示す例では、セパレータ当たり13本の流路が形成されているが、流路の本数は自由に設定することができる。1本の流路を折りたたんだ形状で流路を形成してもよい。

【0053】

セパレータを半導体基板で形成する場合、例えば、幅が $10\text{ }\mu\text{m}\sim 200\text{ }\mu\text{m}$ の範囲、深さが $10\text{ }\mu\text{m}\sim 500\text{ }\mu\text{m}$ の範囲、流路同士の間隔（ピッチ）が $10\text{ }\mu\text{m}\sim 100\text{ }\mu\text{m}$ の範囲にある矩形の流路とすればよい。

【0054】

なお、図1に示す例では、燃料流路の方向と酸化剤流路の方向とが互いに平行になるようにそれぞれのセパレータが形成、配置されているが、本発明の半導体装置では特にこの構造に限定されない。それぞれの流路は、任意の相対角度で対向していてもよく、例えば、それぞれの流路が直交するようにセパレータを形成、配置してもよい。

【0055】

図1に示す半導体装置では、上記1つのセパレータであるアノードセパレータ12とMEA15との間に、アノードセパレータ12とMEA15との接触抵抗を低減させるコンタクト層16が配置されていてもよい。

【0056】

このような半導体装置では、燃料電池1の抵抗過電圧を低減することができるため、燃料電池1の特性をより向上させることができる。よって、より汎用性に優れた半導体装置と

10

20

30

40

50

することができる。なお、図1に示すように、カソードセパレータ14とMEA15との間に上記コンタクト層が配置されていてもよい。コンタクト層の厚さは、例えば、 $0.01\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ の範囲であり、好ましくは $0.01\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$ の範囲である。また、コンタクト層はセパレータの全面に配置されている必要はなく、コンタクト層を配置する領域は任意に設定することができる。

【0057】

コンタクト層16としては、セパレータとMEAとの接触抵抗を低減させることができれば、特に限定されない。例えば、セパレータを半導体基板で形成する場合、上記半導体基板と同じ導電性を有する縮退した不純物拡散層を半導体基板上に形成し、コンタクト層とすればよい。上記不純物拡散層を形成する方法としては、例えば、不純物としてリン(P)、砒素(As)、ホウ素(B)などをドーザ量 $10^{14}/\text{cm}^2$ 以上の範囲で結晶シリコン基板などの半導体基板にイオン注入、拡散させればよい。また、上記不純物拡散層の上にメタルシリサイド層をさらに積層形成し、不純物拡散層とメタルシリサイド層との積層膜をコンタクト層としてもよい。また、上記積層体は、必要に応じてさらに別の層を含んでいてもよい。メタルシリサイド層としては、例えば、白金シリサイド、コバルトシリサイド、モリブデンシリサイド、ニッケルシリサイドなどからなる層とすればよい。なお、このようなコンタクト層を形成する具体的な方法の一例は、実施の形態6に後述する。

【0058】

次に、図1に示す半導体装置における絶縁層3について説明する。

【0059】

絶縁層3に用いる材料としては、半導体素子2とアノードセパレータ12との間に形成することができる、特に限定されない。例えば、 SiO_2 、ガラス、金属酸化膜などを用いればよい。用いる材料の比抵抗は、例えば、 $10^5\Omega \cdot \text{cm}$ 以上の範囲であればよい。絶縁層3は、例えば、上記の材料をアノードセパレータに貼り合わせることによって形成してもよい。

【0060】

アノードセパレータ12が結晶シリコンからなる半導体基板で形成されている場合、例えば、絶縁層3は、 SiO_2 からなる絶縁層であってもよい。この場合、アノードセパレータ12、絶縁層3および半導体素子2を市販のSOI(Silicon On Insulator)基板の加工によって形成することも可能であり、より安定性、汎用性に優れた半導体装置とすることができる。また、より生産性よく半導体装置を製造できる。

【0061】

アノードセパレータ12が金属からなる基板で形成されている場合、絶縁層3は、例えば、上記金属の酸化膜からなる絶縁層であってもよい。この場合、絶縁層3は、上記金属からなる基板の表面を酸化処理することによって形成することができるため、より安定性、汎用性に優れた半導体装置とすることができる。また、より生産性よく半導体装置を製造できる。さらに、セパレータ自体は金属であるため、 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ オーダーの極めて小さい比抵抗を有するセパレータとすることができ、燃料電池としての抵抗過電圧をより小さくすることができる。

【0062】

同様に、絶縁層3に用いる材料が、アノードセパレータ12に用いる材料を酸化したものである場合、アノードセパレータ12の表面を酸化することによって絶縁層3を形成することができるため、より生産性よく半導体装置を製造できる。

【0063】

絶縁層3の厚さとしては、アノードセパレータ12と半導体素子2との絶縁性を保つことができる限り、特に限定されない。例えば、 10nm 以上であればよい。アノードセパレータ12が結晶シリコンからなる半導体基板で形成されており、絶縁層3が SiO_2 からなる場合、絶縁層3の厚さは、例えば、 $10\text{nm} \sim 1\mu\text{m}$ の範囲である。なお、絶縁層3の熱伝導率は一般的に小さいため、絶縁層3の厚さを大きくすることによって、燃料電池1からの熱が半導体素子2に伝導するのを抑制することもできる。

【0064】

また、絶縁層3は、内部に電極4（電極4によって、半導体素子2とアノードセパレータ12とが電氣的に接続されている）が形成された孔（Via Hole）を有している。上記孔の大きさは、電極4の大きさによって設定すればよく、特に限定されない。例えば、断面積にして $1\mu\text{m}^2$ 以下の範囲であればよい。また、図1に示す絶縁層3は、上記孔を1つしか有していないが、その数は特に限定されない。必要に応じて複数有していてもよい。電極4に用いる材料としては、例えば、タングステン、アルミニウム、銅などを用いればよい。半導体素子2の素子配線63と一体化してもよい。

【0065】

次に、図1に示す半導体装置における半導体素子2について説明する。

10

【0066】

図1に示す半導体装置では、半導体素子2としてnチャネルMOSトランジスタ21およびpチャネルMOSトランジスタ22からなるCMOSインバータ素子が結晶シリコン層51に形成されている。上記CMOSインバータは一般的なCMOSインバータであり、pウェルコンタクト層52、nウェルコンタクト層53、p形ソース電極54、p形ドレイン電極55、n形ドレイン電極56、n形ソース電極57、ゲート絶縁膜58、n形ゲート電極59、p形ゲート電極60、素子分離絶縁膜61、層間絶縁膜62、素子配線63、pウェル64およびnウェル65を含んでいる。上記それぞれの領域に用いる材料、各領域の厚さおよび大きさなどは、特に限定されない。例えば、一般的な半導体素子と同様であればよい。

20

【0067】

図1に示す例において、半導体素子であるCMOSインバータ素子は結晶シリコン層51に形成されている。この場合、絶縁層3が SiO_2 からなる絶縁層であれば、アノードセパレータ12、絶縁層3および半導体素子2を市販のSOI基板の加工によって形成することも可能であり、より安定性、汎用性に優れた半導体装置とすることができる。また、より生産性よく半導体装置を製造できる。結晶シリコン層51の厚さとしては、特に限定されない。例えば、 $0.01\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ の範囲である。また、結晶シリコン層の比抵抗としては、例えば、 $1\text{m}\Omega \cdot \text{cm} \sim 1\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$ の範囲である。

【0068】

本発明の半導体装置における半導体素子は、第1の電極および第2の電極を含み、前記第1の電極と前記アノードセパレータとが電氣的に接続しており、前記第2の電極と前記カソードセパレータとが電氣的に接続していてもよい。例えば、図1に示す例において、半導体素子であるCMOSインバータ素子の接地電位電極（図1に示す V_{SS} ）は、絶縁層3中に形成された電極4を介してアノードセパレータ12に電氣的に接続されている。この経路を介してCMOSインバータ素子の負荷回路に電子が供給されることになる。また、CMOSインバータ素子の電源供給電極（図1に示す V_{DD} ）は、外部配線66を介してカソードセパレータ14に電氣的に接続されている。燃料電池1からの電流は、外部配線66を介してCMOSインバータ素子の電源供給電極に流れ込むことになる。なお、CMOSインバータ素子の入力および出力電極は、図1に示す、 V_{in} および V_{out} である。また、電極4および接地電位電極 V_{SS} は、一体化していてもよい。

30

40

【0069】

図1に示す半導体装置において、アノードセパレータ12が半導体基板で形成されている場合、電極4とアノードセパレータ12との間に上述したコンタクト層や金属薄膜層を配置してもよい。電極4とアノードセパレータ12との接触抵抗を低減させることができる。同じく、カソードセパレータ14が半導体基板で形成されている場合、外部配線66とカソードセパレータ14との間に上述したコンタクト層や金属薄膜層を配置してもよい。このような半導体装置では、燃料電池1において発生した電力が効率よく半導体素子2に伝わるため、よりコンパクトで汎用性に優れた半導体装置とすることができる。なお、この場合のコンタクト層の厚さは、例えば、 $0.01\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ の範囲であり、コンタクト層を配置する領域は任意に設定することができる。

50

【 0 0 7 0 】

本発明の半導体装置における半導体素子の種類は、特に限定されない。例えば、M O S トランジスタ、バイポーラトランジスタ、発光ダイオード、半導体レーザーなどを形成すればよい。なお、図 1 に示す半導体素子 2 はシリコン半導体素子であるが、その他の材料を用いた半導体素子、例えば、G a N や S i C などから形成される化合物半導体素子であってもよい。このような化合物半導体素子は 1 0 0 以上の温度領域でも用いることができるため、一般的な P E F C よりも高温で動作するタイプの燃料電池と一体化することもできる。また、半導体素子は、一般的な半導体素子形成法を用いて形成すればよい。

【 0 0 7 1 】

なお、図 1 に示す例では、半導体素子 2 はアノードセパレータ 1 2 の一主面上に形成されているが、本発明の半導体装置は特にこの構成に限定されない。例えば、半導体素子 2 をカソードセパレータ 1 4 の一主面上に形成してもよい。また、本発明の半導体装置では、第 1 および第 2 の半導体素子を含み、第 1 の半導体素子がアノードセパレータの一主面上に形成され、第 2 の半導体素子がカソードセパレータの一主面上に形成されていてもよい。即ち、アノードセパレータおよびカソードセパレータの双方の一主面上に半導体素子が形成されていてもよい。この場合、よりコンパクトで汎用性に優れた半導体装置とすることができる。

【 0 0 7 2 】

また、図 1 に示す例では、燃料電池 1 と半導体素子 2 との間に絶縁層 3 が配置されているが、本発明の半導体装置は特にこの構成に限定されない。アノードセパレータの一主面上に半導体素子を直接形成してもよい。半導体素子をセパレータ上に直接形成する場合、上記セパレータを半導体基板で形成すればよい。なお、半導体素子の形成はアノードセパレータ上に限定されない。カソードセパレータの一主面上に半導体素子を形成してもよいし、アノードセパレータおよびカソードセパレータの双方の一主面上に半導体素子を形成してもよい。

【 0 0 7 3 】

なお、本発明の半導体装置は、図 1 に示すような電子回路装置や、光源、電源、マイクロマシン、マイクロセンサーなどに用いることができる。

【 0 0 7 4 】

(実施の形態 2)

図 2 は、本発明の半導体装置における別の例を示す模式断面図である。

【 0 0 7 5 】

図 2 に示す半導体装置は、燃料電池 1 と半導体素子 2 とを備えている。燃料電池 1 は、アノードセパレータ 1 2 と、カソードセパレータ 1 4 と、アノードセパレータ 1 2 およびカソードセパレータ 1 4 に挟持される M E A 1 5 とを含んでいる。また、それぞれのセパレータと M E A 1 5 との間には、コンタクト層 1 6 が配置されており、M E A 1 5 によって発生した電力をより効率よく集電することができる。

【 0 0 7 6 】

また、半導体素子 2 はアノードセパレータ 1 2 の一主面上に配置された絶縁層 3 上に形成されており、半導体素子 2 とアノードセパレータ 1 2 とが、絶縁層 3 中に形成された電極 4 を介して電氣的に接続されている。

【 0 0 7 7 】

半導体素子 2 は、n チャネル M O S トランジスタ素子であり、p ウェルコンタクト層 5 2、n 形ドレイン電極 5 6、n 形ソース電極 5 7、ゲート絶縁膜 5 8、n 形ゲート電極 5 9、素子分離絶縁膜 6 1、層間絶縁膜 6 2、素子配線 6 3 および p ウェル 6 4 を含んでいる。図 2 に示すように、上記 n チャネル M O S トランジスタ素子のソース電極および基板電極は電極 4 を介してアノードセパレータ 1 2 と電氣的に接続しており、ドレイン電極およびゲート電極は外部配線 6 6 を介してカソードセパレータ 1 4 と電氣的に接続している。外部配線 6 6 の途中には、燃料電池 1 によって発生した電力を供給する外部負荷が接続されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

このような半導体装置では、燃料電池 1 の出力電圧が n チャネル MOS トランジスタ素子の閾値の電圧以上であるときは、トランジスタ素子は常時 ON となり、外部負荷に対して電力を供給することができる。しかし、燃料電池 1 の出力電圧が上記閾値の電圧以下になった場合、トランジスタ素子は OFF となり外部負荷への電力の供給が停止する。例えば、上記閾値を燃料電池の下限電圧（安全に発電できる最低電圧）に設定すれば、燃料電池のトラブルなどによる電子機器の誤動作や、燃料電池の電圧が低下しすぎることによる燃料電池の破損を防止することができる。また、トランジスタ素子のチャネルサイズを適当な値に設定することによって、燃料電池 1 の出力電流リミッタ機能を有する半導体装置（電源）とすることもできる。なお、トランジスタ素子の閾値の電圧は、p ウェル 6 4 の不純物拡散濃度やゲート絶縁膜 5 8 の膜厚、n 形ゲート電極 5 9 の材質（仕事関数）を調節することにより制御することができる。

10

【 0 0 7 9 】

図 3 は、本発明の半導体装置のまた別の例を示す断面模式図である。

【 0 0 8 0 】

図 3 に示す半導体装置は、図 2 に示す半導体装置の半導体素子 2 を n チャネル MOS トランジスタ素子から p チャネル MOS トランジスタ素子に変更した半導体装置である。

【 0 0 8 1 】

図 3 に示す半導体素子 2 は、p チャネル MOS トランジスタ素子であり、n ウェルコンタクト層 5 3、p 形ソース電極 5 4、p 形ドレイン電極 5 5、ゲート絶縁膜 5 8、p 形ゲート電極 6 0、素子分離絶縁膜 6 1、層間絶縁膜 6 2、素子配線 6 3 および n ウェル 6 5 を含んでいる。図 3 に示すように、上記 p チャネル MOS トランジスタ素子のソース電極およびゲート電極は電極 4 を介してアノードセパレータ 1 2 と電気的に接続しており、ドレイン電極および基板電極は外部配線 6 6 を介してカソードセパレータ 1 4 と電気的に接続している。外部配線 6 6 の途中には、燃料電池 1 によって発生した電力を供給する外部負荷が接続されている。このような半導体装置では、図 2 に示す半導体装置と同様の効果を得ることができる。

20

【 0 0 8 2 】

通常、PEFC における単セルの出力電圧は 1 V 程度以下であるため、燃料電池を実際に半導体装置に用いる際には、半導体素子における使用電圧と燃料電池の出力電圧とを整合するためのインターフェース回路（DC - DC コンバータ回路など）や、燃料電池の出力制御回路（電圧制限回路や電流制限回路）などを付加する場合が考えられる。その際、本実施の形態における半導体装置のように、燃料電池と上記回路を含む半導体素子とを一体化することによって、よりコンパクトで汎用性に優れた半導体装置とすることができる。

30

【 0 0 8 3 】

なお、本実施の形態における半導体装置の各部分に用いられる材料や各部分の厚さ、大きさなどは、実施の形態 1 に示した内容と同様である。

【 0 0 8 4 】

（実施の形態 3）

図 4 A は、本発明の半導体装置における燃料電池の別の例を示す模式断面図である。

40

【 0 0 8 5 】

図 4 A に示す燃料電池 1 は、アノードセパレータ 1 2 と、カソードセパレータ 1 4 と、アノードセパレータ 1 2 およびカソードセパレータ 1 4 に挟持される MEA 1 5 とを含んでいる。また、カソードセパレータ 1 4 には開口部 1 7 が設けられており、カソードセパレータ 1 4 の流路は大気開放されている。

【 0 0 8 6 】

このような燃料電池では、酸化剤である空気を自然置換によって MEA に供給しているため、酸化剤を供給するポンプなどのデバイスを省略することができる。そのため、このような燃料電池を用いることによって、よりコンパクトで汎用性に優れた半導体装置とすることができる。

50

【 0 0 8 7 】

また、カソードセパレータ 1 4 が半導体基板で形成されている場合、開口部 1 7 を半導体加工プロセスにより形成してもよい。半導体加工プロセスを用いた場合、微細な成形を行うことができるため、例えば、図 4 B および図 4 C に示すように、開口部 1 7 を格子状に加工することができる。開口部 1 7 を格子状に形成すれば、セパレータの流路への外部からのゴミや埃の侵入を抑制することができる。図 4 B は、図 4 A に示す燃料電池 1 を図 4 A 中の X 方向から見た模式図である。図 4 C は、図 4 B にしめす開口部 1 7 の一部（図 4 B における丸印部分）を拡大した模式図である。開口部 1 7 のうち、図 4 C に示す Y 部が実際に開口している部分に相当し、上記 Y 部を通じて M E A のカソードに空気が供給されることになる。

10

【 0 0 8 8 】

開口部 1 7 の幅および長さ、開口部 1 7 を格子状とした場合の図 4 C に示す Y 部の大きさ、開口部 1 7 に含まれる Y 部の数などは特に限定されない。カソードセパレータの大きさ、必要な電池特性などに応じて、任意に設定することができる。流路への一般的な塵埃の侵入を防ぐためには、Y 部の開口部分の面積を、例えば、 $100\mu\text{m}^2 \sim 1000\mu\text{m}^2$ の範囲に設定すればよい。例えば、開口部 1 7 の幅が $200\mu\text{m}$ の場合、Y 部の開口部分の面積を $100\mu\text{m}^2$ 、隣り合う Y 部同士の間隔を $5\mu\text{m}$ に設定すればよい。また、格子状に加工する部分の厚さは、任意に設定すればよい。

【 0 0 8 9 】

なお、本実施の形態における燃料電池の各部分に用いられる材料や各部分の厚さ、大きさなどは、実施の形態 1 に示した内容と同様である。

20

【 0 0 9 0 】

（実施の形態 4）

図 5 は、本発明の半導体装置における燃料電池の別の例を示す断面模式図である。

【 0 0 9 1 】

図 5 に示す燃料電池 1 は、アノードセパレータ 1 2 とカソードセパレータ 1 4 と M E A 1 5 とを含む単セルが複数積層された燃料電池である。また、図 5 に示す燃料電池 1 では、両端のセパレータを除き、アノードセパレータおよびカソードセパレータはセパレータ 1 8 として一体化されている。セパレータ 1 8 の一主面には燃料の流路 1 1 が形成され、上記一主面とは反対側の主面には酸化剤の流路 1 3 が形成されている。セパレータ 1 8 は、アノードセパレータとカソードセパレータとの双方の役割を担っており、またセパレータ 1 8 によって各単セルが直列に接続されている。

30

【 0 0 9 2 】

このような燃料電池とすることで、電池の発電面積は一定のまま、出力電圧を大きくすることができる。例えば、図 5 に示す例では、3 セルを直列に接続しているため、燃料電池の出力電圧は単セルの約 3 倍になる。また、このように単セルを積層した燃料電池を備えることで、より汎用性に優れた半導体装置とすることができる。なお、単セルの積層数は、図 5 に示す 3 セルに限らず、必要な電池特性に応じて任意に設定することができる。

【 0 0 9 3 】

なお、単セルを積層する際には、図 5 に示すように、アノードセパレータとカソードセパレータとを一体化したセパレータ 1 8 を用いる必要はない。例えば、単セル同士を単に積層してもよい。その際に、各単セルの間に燃料電池を冷却するための層を配置してもよい。また、本実施の形態における燃料電池の各部分に用いられる材料や各部分の厚さ、大きさなどは、実施の形態 1 に示した内容と同様である。

40

【 0 0 9 4 】

（実施の形態 5）

図 6 は、本発明の半導体装置における燃料電池の別の例を示す断面模式図である。

【 0 0 9 5 】

図 6 に示す燃料電池 1 は、アノードセパレータ 1 2 と、カソードセパレータ 1 4 と、アノードセパレータ 1 2 およびカソードセパレータ 1 4 に挟持される M E A 1 5 とを含んでい

50

る。また、カソードセパレータ 14 の酸化剤の流路には、撥水处理層 19 が形成されている。

【0096】

P E F C では、加湿した燃料や酸化剤を M E A に供給する場合があり、また、発電によって水が生成することなどから、燃料や酸化剤の流路（特に酸化剤の流路）に液体の水が滞留する（フラッシング）ことがある。流路に水が滞留した場合、M E A への燃料や酸化剤の供給が妨げられ、発電性能が低下する可能性がある。特に、カソードセパレータとして実施の形態 3 で示すような大気開放型のセパレータを用いた場合、酸化剤である空気を強制的に供給することができないため、フラッシングを起こす可能性が高くなる。また、燃料電池を高電流密度で発電する場合においても、生成する水の量が増加するためフラッシングが起きやすくなる。図 6 に示す燃料電池 1 のように、カソードセパレータ 14 の酸化剤の流路に撥水处理層 19 を形成することによって、酸化剤の流路から効率よく水を排出することができるため、より汎用性に優れた燃料電池とすることができる。また、このような燃料電池を備えることで、より汎用性に優れた半導体装置とすることができる。

10

【0097】

撥水处理層 19 としては、撥水効果を有する限り、特に限定されない。例えば、セパレータの流路に H M D S (H e x a m e t h y l d i s i l a z a n e) 層をスピンコート塗布することによって形成してもよい。また、セパレータが結晶シリコンからなる半導体基板で形成されている場合、レーザー光の照射や、超高真空中における熱処理などによって撥水处理層を形成してもよい。この場合、レーザー光などにより結晶シリコンの表面に数 n m オーダーの凹凸が形成され、この凹凸によって撥水効果を得ることができる。

20

【0098】

なお、図 6 に示す燃料電池 1 では、撥水处理層はカソードセパレータ 14 にのみ形成されているが、アノードセパレータ 12 に撥水处理層を形成してもよい。また、本実施の形態における燃料電池の各部分に用いられる材料や各部分の厚さ、大きさなどは、実施の形態 1 に示した内容と同様である。

【0099】

（実施の形態 6）

本実施の形態では、本発明における半導体装置の製造方法について説明する。なお、本実施の形態における半導体装置の各部分に用いられる材料や各部分の厚さ、大きさなどは、実施の形態 1 に示した内容と同様である。

30

【0100】

本発明における半導体装置の製造方法は、一对のセパレータによって M E A を挟持する構造を含む、燃料電池を備える半導体装置の製造方法であって、

（i）半導体基板の一方の面上に半導体素子を形成する工程と、

（ii）前記半導体基板における前記一方の面とは反対側の面に、燃料または酸化剤が流れる流路を形成する工程と、

（iii）前記半導体基板を前記一对のセパレータから選ばれる 1 つのセパレータとして、前記流路が形成された面と前記 M E A とが接するように前記半導体基板上に前記 M E A を積層する工程とを含んでいる。

40

【0101】

このような製造方法は、半導体加工プロセスを用いて実施することが可能である。そのため、燃料電池と半導体素子とが一体化されたコンパクトで汎用性に優れた半導体装置を、より生産性よく製造できる。また、半導体基板として大口径シリコンウェハーを用いれば、一度に大量の半導体装置を製造することも可能であり、この場合、より低いコストで半導体装置を製造できる。

【0102】

上記製造方法では、前記半導体基板が、前記一方の面と前記反対側の面との間に絶縁層を備えていてもよい。

50

【0103】

また、上記製造方法では、前記(i)の工程が、

(a) 前記半導体素子と前記半導体基板とが前記絶縁層中に形成された電極を介して電氣的に接続するように、前記絶縁層上に前記半導体素子を形成する工程を含んでいてもよい。

【0104】

この製造方法の一例を、図7A～図7Hを用いて説明する。なお、以下に説明する製造方法は、アノードセパレータ上に半導体素子が形成された半導体装置を製造する方法であるが、カソードセパレータ上に半導体素子が形成された半導体装置を製造する場合も同様である。

10

【0105】

最初に、半導体基板7、絶縁層3、結晶シリコン層8が積層された積層体を形成する(図7A)。上記積層体は、それぞれの層を堆積させることによって形成してもよいが、例えば、市販のSOI基板(例えば、SOITEC(エスオーアイテック)社製、UNIBOND(ユニボンド)基板)を用いてもよい。それぞれの層の厚さは、半導体装置として必要な特性に応じて任意に設定すればよい。半導体基板7は最終的にアノードセパレータとなるため、その材料としては、実施の形態1におけるアノードセパレータに用いる半導体基板と同様であればよい。また、結晶シリコン層8には半導体素子が形成され、最終的に実施の形態1における結晶シリコン層51となる。例えば、上記市販のUNIBOND基板の一例では、半導体基板7は、導電型n形、面方位(001)、オリエンテーションフ
ラット面の方位<110>、比抵抗が $10\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ の半導体基板であり、厚さは $650\text{ }\mu\text{m}$ とすることができる。絶縁層3は、 SiO_2 からなり、厚さ 400 nm である。結晶シリコン層8は、厚さ 200 nm である。

20

【0106】

次に、絶縁層3上に形成された結晶シリコン層8に半導体素子2を形成する(図7B)。図7Bに示す例では、半導体素子2として、図1に示すCMOSインバータ素子が形成されている。図7Bに示す半導体素子2の各部分は、基本的に図1に示す半導体素子2と同じであり、同一の部分には同一の番号を付している。ただし、図7Bに示す半導体素子2は、プラズマ窒化膜などからなるパッシベーション膜67をさらに含み、また、後に外部配線を接続するための開口部68が設けられている。また、半導体素子2と半導体基板7
とを電氣的に接続する電極4が絶縁層3に形成され、電極4と半導体基板7との間には、両者の接触抵抗を低減させるコンタクト層69が配置されている。

30

【0107】

絶縁層3上に半導体素子2を形成する工程としては、一般的な半導体素子形成工程(図7Bに示す例では、CMOSインバータ素子形成工程)を用いればよい。また、半導体素子2の各部分、およびコンタクト層69には、実施の形態1で示した材料を用いればよい。電極4と素子配線63とは一体化して形成してもよい。

【0108】

次に、以上のように得た半導体素子2、絶縁層3および半導体基板7の積層体に対し、半導体基板7における絶縁層3および半導体素子2が形成されている面とは反対側の面に、燃料が流れる流路11を以下の手順で形成する。

40

【0109】

まず、上記積層体を5wt%程度の希弗酸に30秒程度浸漬させ、半導体基板7上の自然酸化膜を除去する。次に、半導体基板7における上記反対側の面を工程処理面として、As原子を加速してイオン注入(例えば、加速電圧 $10\text{ keV}\sim 100\text{ keV}$ の範囲、ドーズ量 $10^{14}\text{ cm}^{-2}\sim 10^{16}\text{ cm}^{-2}$ の範囲で注入)し、さらに急速加熱処理(例えば、200、1分)を行うことによって、導電型がn形である縮退したAs拡散層70を形成する(図7C)。As拡散層70の厚さは、例えば、 $0.01\text{ }\mu\text{m}\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ の範囲であり、好ましくは $0.01\text{ }\mu\text{m}\sim 0.5\text{ }\mu\text{m}$ の範囲である。

【0110】

50

次に、As 拡散層 70 上にスパッタ法や真空蒸着法を用いてニッケル膜を堆積させ、さらに、急速加熱処理（例えば、400℃、1分、ただし、熱処理温度は半導体素子2内の素子配線43の融点未満）を行うことにより、ニッケルシリサイド膜 71 を形成する（図7D）。As 拡散層 70 およびニッケルシリサイド膜 71 の積層膜が、コンタクト層 16 となる。このとき、半導体基板 7 に注入する不純物原子や、不純物拡散層 70 上に堆積する原子を変更することによって、コンタクト層 16 の組成を制御することができる。なお、堆積させるニッケル膜の厚さは、例えば、0.01 μm ~ 10 μm の範囲であり、好ましくは 0.01 μm ~ 0.5 μm の範囲である。また、このとき厚さ 0.01 μm ~ 10 μm の範囲（あるいは、0.01 μm ~ 0.5 μm の範囲）のニッケルシリサイド膜を形成することができる。

10

【0111】

次に、コンタクト層 16 上に、形成する流路の形状に合わせたレジストパターン 72（厚さは、例えば、30 μm）を形成（図7E）した後、ドライエッチング処理などを行うことによって、半導体基板 7 に燃料の流路を形成する。このとき、レジストパターン 72 の形状や、エッチング処理の時間を制御することによって、燃料の流路の幅や深さを制御することができる。その後、レジストパターン 72 を除去することによって、一主面上に絶縁層 3 および半導体素子 2 が形成され、かつ、上記一主面とは反対側の面に燃料の流路 11 が形成されたアノードセパレータ 12 を得ることができる（図7F）。

【0112】

アノードセパレータ 12 の形成とは別に、上述した図7C ~ 図7F に示す方法と同様の方法を用い、酸化剤の流路 13 およびコンタクト層 16 が形成されたカソードセパレータ 14 を形成する（図7G）。アノードセパレータ 12 の形成とは異なり、例えば、単層の半導体基板に不純物拡散層を形成する工程から始めればよい。

20

【0113】

最後に、上記のようにして準備したアノードセパレータ 12 と、カソードセパレータ 14 と、別に準備したMEA 15 とを、それぞれのセパレータの流路が形成された面とMEA 15 とが接するように、積層する（図7H）。積層時には、必要に応じて圧力および温度を加えてもよいし、全体を樹脂などで被覆してもよい。その後、カソードセパレータ 14 と半導体素子 2 とを外部配線を用いて接続することによって、図1に示すような半導体装置を得ることができる。

30

【0114】

なお、本発明の半導体装置の製造方法では、上記アノードセパレータの製造工程において、半導体素子の形成と、燃料の流路の形成とを、順序を逆にして行っても（即ち、最初に燃料の流路を形成した後半導体素子の形成を行っても）よい。

【0115】

本発明は、その意図および本質的な特徴から逸脱しない限り、他の実施の形態に適用する。この明細書に開示されている実施の形態は、あらゆる点で説明的なものであってこれに限定されない。本発明の範囲は、上記説明ではなく添付したクレームによって示されており、クレームと均等な意味および範囲にあるすべての変更はそれに含まれる。

【産業上の利用可能性】

40

【0116】

以上のように、本発明によれば、コンパクトで汎用性に優れる、燃料電池を備える半導体装置を得ることができる。また、上記燃料電池を備える半導体装置をより生産性よく製造できる、燃料電池を備える半導体装置の製造方法を提供することができる。本発明の半導体装置は、電子回路装置、電源、光源、マイクロマシン、マイクロセンサーなどに用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【0117】

【図1】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の一例を示す模式断面図である。

【図2】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の別の一例を示す模式断面図であ

50

る。

【図 3】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の別の一例を示す模式断面図である。

【図 4 A】本発明の燃料電池を備える半導体装置における、燃料電池の一例を示す模式断面図である。

【図 4 B】図 4 A に示す燃料電池を別の角度から見た模式図である。

【図 4 C】図 4 B に示す燃料電池の一部を拡大した模式図である。

【図 5】本発明の燃料電池を備える半導体装置における、燃料電池の一例を示す模式断面図である。

【図 6】本発明の燃料電池を備える半導体装置における、燃料電池の一例を示す模式断面図である。 10

【図 7 A】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。

【図 7 B】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。

【図 7 C】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。

【図 7 D】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。

【図 7 E】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。 20

【図 7 F】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。

【図 7 G】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。

【図 7 H】本発明における、燃料電池を備える半導体装置の製造方法の一例を示す工程断面図である。

【 図 1 】

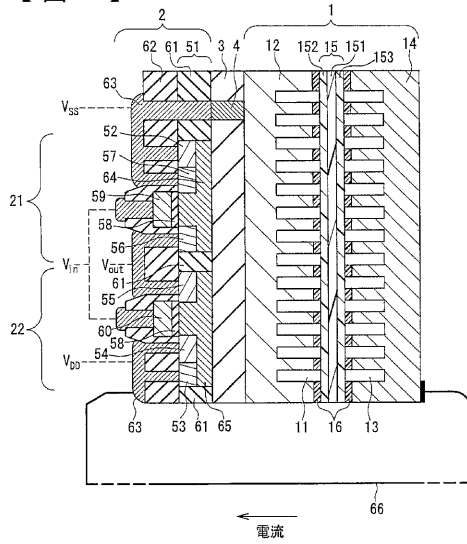


FIG. 1

【 図 2 】

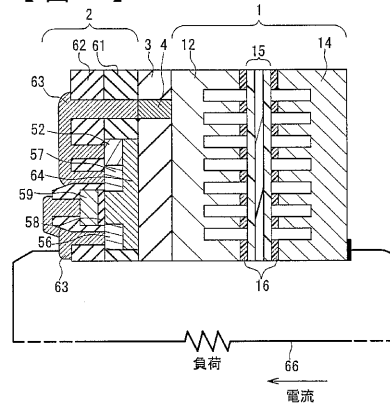


FIG. 2

【 図 3 】

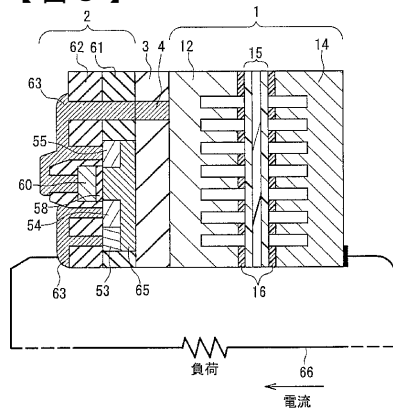


FIG. 3

【 図 4 B 】

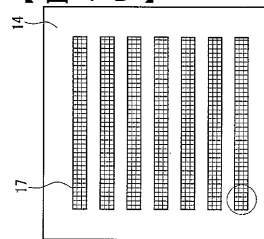


FIG. 4B

【 図 4 C 】

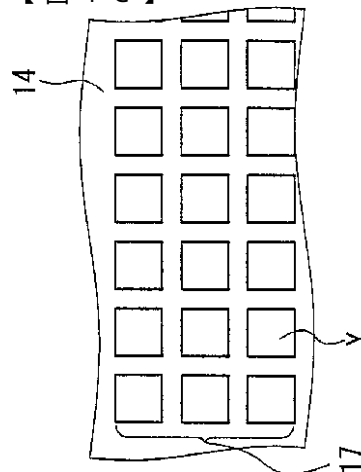


FIG. 4C

【 図 4 A 】

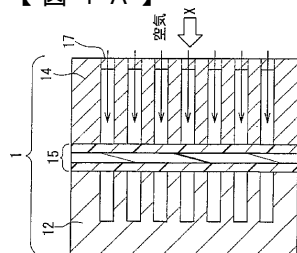


FIG. 4A

【図 5】

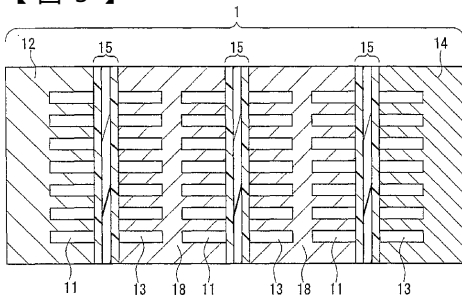


FIG. 5

【図 6】

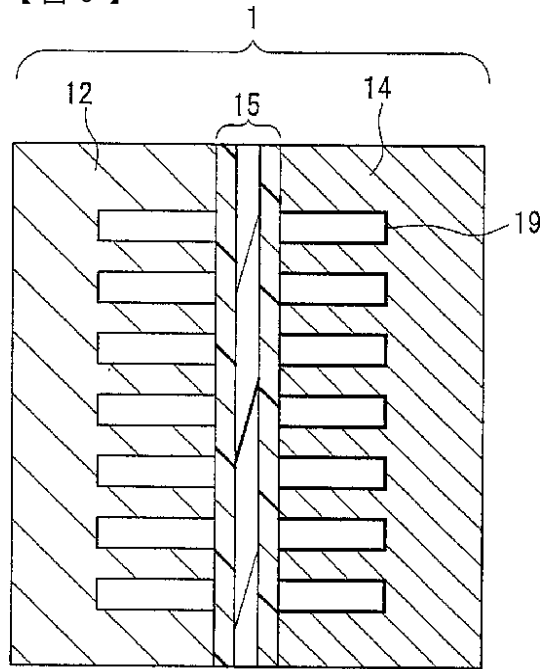


FIG. 6

【図 7 A】

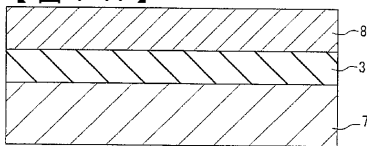


FIG. 7A

【図 7 B】

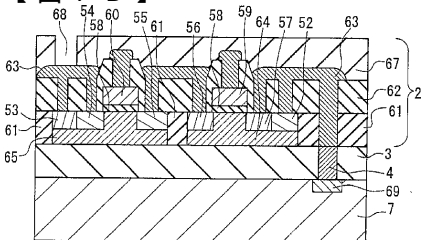


FIG. 7B

【図 7 C】

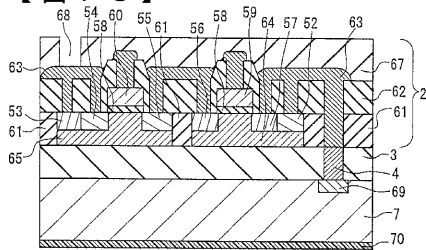


FIG. 7C

【図 7 D】

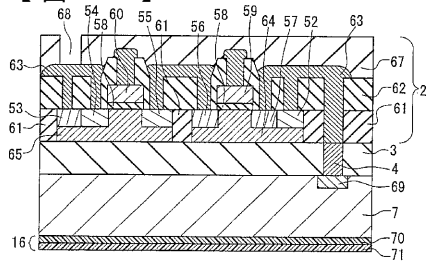


FIG. 7D

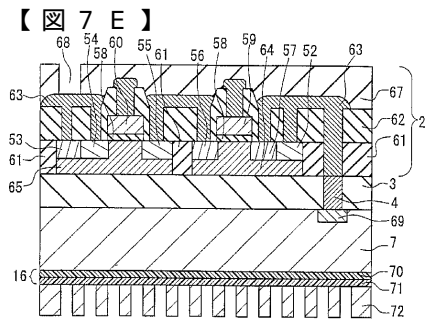


FIG. 7E

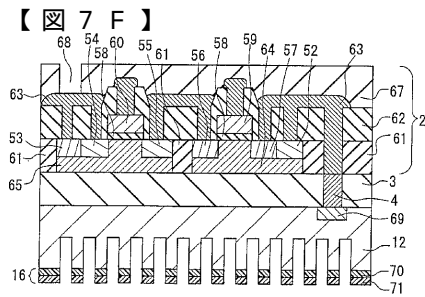


FIG. 7F

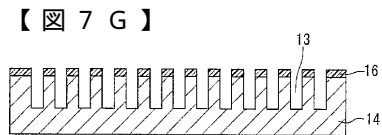


FIG. 7G

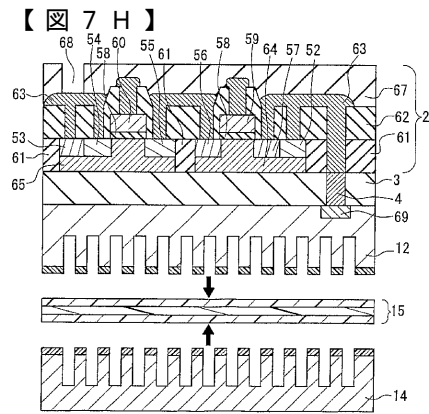


FIG. 7H

フロントページの続き(51) Int.Cl.⁷

F I

H 0 1 L 21/88

J

H 0 1 M 8/10

(56) 参考文献 特開平 1 1 - 1 0 3 0 3 5 (J P , A)

特開平 1 0 - 0 7 0 2 8 1 (J P , A)

特開平 0 8 - 0 1 8 0 1 5 (J P , A)

特開平 0 8 - 0 1 8 0 0 9 (J P , A)

特開平 0 6 - 2 4 4 4 1 6 (J P , A)

国際公開第 0 1 / 0 8 0 2 8 6 (W O , A 1)

(58) 調査した分野(Int.Cl.⁷ , D B 名)

H01M 8/00-8/24

H01L 21/3205