

(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

(43) 国際公開日
2017年12月7日(07.12.2017)



(10) 国際公開番号

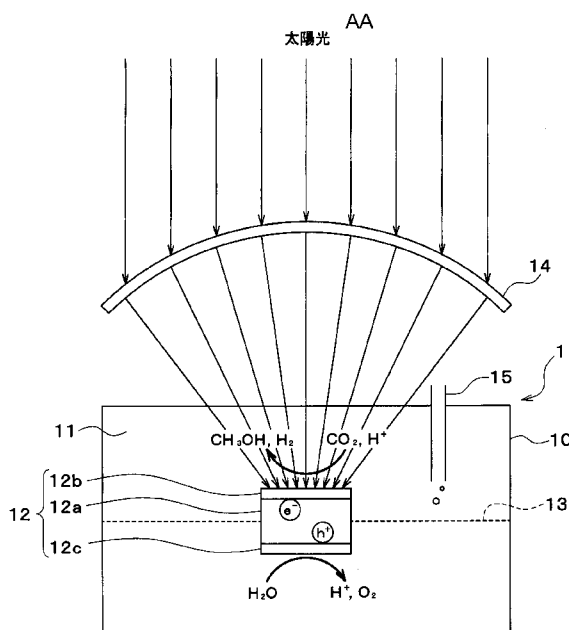
WO 2017/208693 A1

- (51) 国際特許分類:
C25B 9/00 (2006.01) C25B 3/04 (2006.01)
B01J 35/02 (2006.01) C25B 11/04 (2006.01)
C25B 1/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/016675
- (22) 国際出願日: 2017年4月27日(27.04.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-110987 2016年6月2日(02.06.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社デンソー (DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 山口 仁 (YAMAGUCHI Hitoshi); 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 金 順 姫 (JIN Shunji); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦2丁目13番19号 瀧定ビル6階 Aichi (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: ARTIFICIAL PHOTOSYNTHETIC APPARATUS

(54) 発明の名称: 人工光合成装置

[図1]



AA Sunlight

(57) **Abstract:** An artificial photosynthetic apparatus is provided with a condensing lens (14) and a semiconductor photocatalyst (12). The condensing lens condenses light at a predetermined magnification. The semiconductor photocatalyst has a semiconductor layer (12a) for absorbing light condensed by the condensing lens and generating an internal photoelectric effect, a reduction electrode (12b) for reducing carbon dioxide and generating a carbon compound, and an oxidation electrode (12c) for oxidizing water and generating oxygen and hydrogen ions. In the semiconductor catalyst, the

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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, SM,
 ST, SV, SY, TH, 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, 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))

semiconductor layer and the reduction electrode and oxidation electrode are integrated. The semiconductor layer absorbs light and generates heat, and the heat generated by the semiconductor layer is transmitted to the reduction electrode and the oxidation electrode.

(57) 要約: 人工光合成装置は、集光レンズ(14)と、半導体光触媒(12)と、を備える。集光レンズは、光を所定の倍率で集光する。半導体光触媒は、集光レンズによって集光された光を吸収して内部光電効果を生じさせる半導体層(12a)と、二酸化炭素を還元して炭素化合物を生成する還元電極(12b)と、水を酸化して酸素および水素イオンを生成する酸化電極(12c)と、を有する。半導体触媒において、半導体層、還元電極および酸化電極は一体化されている。半導体層は光を吸収して熱を発し、半導体層で発生した熱は還元電極および酸化電極に伝えられる。

明 細 書

発明の名称：人工光合成装置

関連出願の相互参照

[0001] 本出願は、2016年6月2日に提出された日本出願番号2016-110987号に基づくもので、ここにその記載内容を援用する。

技術分野

[0002] 本開示は、人工的に光合成を行うことが可能な人工光合成装置に関するものである。

背景技術

[0003] 従来より、太陽光の光エネルギーを利用して、水と二酸化炭素から水素や炭素を含む炭素化合物（メタノールなど）と共に酸素を生成する光合成を人工的に行う人工光合成システムが研究されている。

[0004] 例えば、特許文献1では、半導体と二酸化炭素の還元作用を呈する金属錯体を用いて、二酸化炭素をギ酸に還元することが開示されている。特許文献2には、SiC/Si系半導体を用いて炭素化合物や水素を生成することが開示されている。非特許文献1には、GaAs系半導体を用いて水素を生成することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-94194号公報

特許文献2：特開2016-34611号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献1：Turner et al., Science 17 April 1998 vol.280, Issue 5362, pp. 425-427

発明の概要

[0007] しかしながら、上述した従来技術の人工光合成では、水素や炭素化合物といった反応生成物の生成効率が低いという課題がある。

[0008] 本開示は、反応生成物の生成効率を向上させることが可能な人工光合成装置を提供することを目的とする。

[0009] 本開示の一態様によれば、人工光合成装置は、集光レンズと、半導体光触媒と、を備える。集光レンズは、光を所定の倍率で集光する。半導体光触媒は、集光レンズによって集光された光を吸収して内部光電効果が発生させる半導体層と、二酸化炭素を還元して炭素化合物を生成する還元電極と、水を酸化して酸素および水素イオンを生成する酸化電極と、を有する。

[0010] 半導体触媒において、半導体層、還元電極および酸化電極は一体化されている。半導体層は光を吸収して熱を発し、半導体層で発生した熱は還元電極および酸化電極に伝えられる。

[0011] 本開示の一態様によれば、半導体層、還元電極および酸化電極が一体化された半導体光触媒に対し、集光レンズによって集光することで、光の吸収によって半導体層で発生する熱エネルギーで電極を温度上昇させることができ、電極反応の反応速度を上げることができる。この結果、半導体層で発生する熱エネルギーを電極表面での電極反応に積極的に有効利用できる。

図面の簡単な説明

[0012] 本開示についての上記目的およびその他の目的、特徴や利点は、添付の図面を参照しながら下記の詳細な記述により、より明確になる。図面において、

[図1]第1実施形態の人工光合成装置の全体構成を示す説明図であり、

[図2]半導体層のエネルギーバンドを示す説明図であり、

[図3]温度変化した場合の半導体光触媒の変換効率、電極反応の反応速度、反応生成物の生成効率を示すグラフであり、

[図4]温度変化した場合の半導体光触媒の変換効率、電極反応の反応速度、反応生成物の生成効率を示すグラフであり、

[図5]第2実施形態の人工光合成装置の全体構成を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本開示の実施形態について図に基づいて説明する。なお、以下の各

実施形態相互において、互いに同一もしくは均等である部分には、同一符号を付して説明を行う。

[0014] (第1実施形態)

本開示の第1実施形態にかかる人工光合成装置1について説明する。本実施形態の人工光合成装置1は、太陽光を照射することで酸素生成、水素生成および炭素化合物（メタノール等）生成を行うものとして用いられる。

[0015] 図1に示すように、人工光合成装置1は、容器10を備えている。容器10には、電解液11が収容されている。電解液11は特に限定されないが、本実施形態では炭酸水素カリウム水溶液を用いている。炭酸水素カリウム水溶液の濃度は、 0.1 mol/L としている。

[0016] 容器10には、半導体光触媒12が設けられている。半導体光触媒12は、電解液11に浸された状態となっている。半導体光触媒12は、太陽電池と同様の構成であり、半導体層12a、還元電極12b、酸化電極12cを備えている。

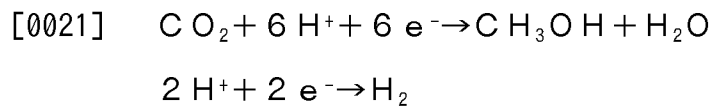
[0017] 半導体層12aの一面側の表面上に還元電極12bが形成され、半導体層12aの他面側の表面上に還元電極12bが形成されている。図1では、半導体層12aの上側に還元電極12bが形成され、半導体層12aの下側に酸化電極12cが形成されている。つまり、半導体光触媒12は、半導体層12a、還元電極12bおよび酸化電極12cが一体化して構成されている。

[0018] 半導体光触媒12では、太陽光が照射されると内部光電効果（光起電力効果）によって電子／正孔対が発生する。換言すると、半導体層12aは、太陽光を吸収して内部光電効果が発生させる。この結果、電子が還元電極12bに移動し、正孔が酸化電極12cに移動し、電極間12b、12cに電位差が発生する。

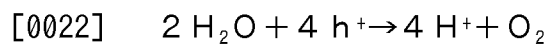
[0019] 本実施形態では、半導体層12aとして直接遷移型半導体であるIII-V族半導体を用いている。本実施形態のIII-V族半導体は、2接合または3接合のタンデム構造であり、トンネル接合となっている。そのようなI

Ⅲ－Ⅴ族半導体としては、GaInP/GaAs/Ge、GaInP/GaAs/GaNAs、GaInP/GaAs、AlGaInP/GaAs/Ge、AlGaInP/GaAs/GaNAs、AlGaInP/GaAsを例示でき、各半導体は各々PN接合を形成し、基板はGe基板若しくはGaAs基板を用いる。このPN接合が2つのときが2接合で、3つのときが3接合である。また、Ⅲ－Ⅴ族半導体の基板としてSi半導体を用いてもよい。

[0020] 還元電極12bは、半導体層12aの表面上に形成されている。半導体層12aの表面にITOやFTO等の透明電極を成膜することで、還元電極12bを形成することができる。還元電極12bの表面では、以下に示す二酸化炭素の還元反応が行われ、炭素化合物（メタノール等）および水素が生成する。



酸化電極12cは、半導体層12aにおける還元電極12bとは反対側の表面上に形成されている。半導体層12aの表面にIrO₂電極若しくはRuO₂電極等を成膜することで、酸化電極12cを形成することができる。酸化電極12cの表面では、以下に示す水の酸化反応が行われ、水素イオンおよび酸素が生成する。



酸化電極12c側で発生した水素イオンは、還元電極12b側に移動し、上述した二酸化炭素の還元反応に用いられる。

[0023] 容器10には、電解質膜13が設けられている。電解質膜13は、還元電極12bと酸化電極12cの間に配置される。電解質膜13は、水素イオンの移動を許容しつつ、還元電極12b側と酸化電極12c側で電解液11を分離する。電解質膜13としては、例えばナフィオン（デュポン社の登録商標）を用いることができる。

[0024] 容器10の外部には、集光レンズ14が設けられている。集光レンズ14

は、太陽光を還元電極 1 2 b に集光する機能を備えている。集光レンズ 1 4 としては、例えば球面レンズまたはフレネルレンズを用いることができる。

[0025] 半導体層 1 2 a は、集光レンズ 1 4 によって集光された太陽光を吸収する。集光レンズ 1 4 によって太陽光を集光することで、半導体層 1 2 a における光エネルギーから電気エネルギーへの変換効率を向上させることができる。特に、本実施形態で半導体層 1 2 a として用いている III-V 族半導体は、集光による変換効率を向上させる効果大きい。

[0026] 本実施形態では、集光レンズ 1 4 の倍率を 5 ～ 1 0 0 0 倍としている。集光レンズ 1 4 の倍率は、集光レンズ 1 4 の屈折率等によって調整することができる。後述するように、半導体層 1 2 a は太陽光を吸収することで発熱する。集光レンズ 1 4 の倍率を変化させることで、半導体層 1 2 a の温度を制御することができる。具体的には、集光レンズ 1 4 の倍率を高くすると半導体層 1 2 a の温度が高くなり、集光レンズ 1 4 の倍率を低くすると半導体層 1 2 a の温度が低くなる。

[0027] 容器 1 0 には、CO₂供給管 1 5 が挿入されている。CO₂供給管 1 5 から二酸化炭素が電解液 1 1 における還元電極 1 2 b 側に供給される。

[0028] 図 2 は、標準水素電極を基準にして測定した電位と水の酸化電位および二酸化炭素の還元電位と、半導体層 1 2 a のエネルギーバンド図を示している。図 2 に示すように、本実施形態では、半導体層 1 2 a として GaInP 層および GaAs 層からなる 2 接合を採用している。GaInP 層および GaAs 層はヘテロ接合されている。太陽光は、半導体層 1 2 a の GaInP 層側から入射する。

[0029] 図 2 に示すように、GaInP 側の伝導帯の下端電位が二酸化炭素の還元電位よりもマイナス側となり、GaAs 側の価電子帯の上端電位が酸素および水の酸化電位よりもプラス側となるようにしている。具体的には、GaAs 層や GaInP 層の導電型や不純物濃度の調整によって、GaInP 層側の伝導帯の下端電位や GaAs 層側の価電子帯の上端電位を設定している。

[0030] さらに、GaAs 側で励起される電子／正孔と GaInP 側で励起される

電子／正孔を連続的につなぐために、GaAs層の伝導帯とGaInP層の価電子帯のエネルギー準位差が小さくなるようにし、且つGaAs側N型領域のヘテロ接合近傍部とGaInP側のP型領域のヘテロ接合近傍部が高濃度ドーピングの半導体となるようにしている。このように、GaAs層の伝導帯の下端とGaInP層の価電子帯の上端のエネルギー準位差を小さくし、かつ、ヘテロ接合の遷移領域を薄く高濃度にする事で、トンネル現象が生じてトンネル電流が流れるようになる。

[0031] また、GaAs層で生成した電子／正孔対の電子がヘテロ接合側へ移動し、正孔がヘテロ接合の反対側となる表面側へ移動するようにPN接合によってバンドが曲げられる。つまり、GaAs層の伝導帯側のバンドは、ヘテロ接合側に向かって下側に傾斜するように曲げられ、価電子帯側のバンドも、ヘテロ接合側に向かって下側に傾斜するように曲げられる。

[0032] 同様に、GaInP層で生成した電子／正孔対の電子がヘテロ接合と反対側となる裏側へ移動し、正孔がヘテロ接合側へ移動するようにPN接合によってバンドが曲げられる。つまり、GaInP層の伝導帯側のバンドは、ヘテロ接合側に向かって上側に傾斜するように曲げられ、価電子帯側のバンドも、ヘテロ接合側に向かって上側に傾斜するように曲げられる。

[0033] このようにすることで、伝導帯側では電子がよりGaInP層における表面側に移動し易くなると共に、価電子帯側では正孔がよりGaAs層の表面側に移動し易くなって、電子と正孔を遠ざけられる。したがって、キャリアを分離することができて再結合を抑制することが可能となる。また、GaAs側の電子とGaInP側の正孔がヘテロ接合に集まり再結合によるトンネルが起き易くなる。

[0034] 図2に示すように、半導体層12aを構成するGaInP層およびGaAs層では、太陽光が照射されることで内部光電効果によって電子が励起されるが、入射光エネルギーのうち一部は熱として放出される。このため、太陽光が照射されることで半導体層12aは発熱する。

[0035] 本実施形態では、半導体層12a、還元電極12bおよび酸化電極12c

が一体化されているので、半導体層 1 2 a で発生した熱は、還元電極 1 2 b および酸化電極 1 2 c に直接伝えられる。これにより、半導体層 1 2 a、還元電極 1 2 b および酸化電極 1 2 c が温度上昇する。

[0036] 図 3 および図 4 は、半導体層 1 2 a の太陽光から電気への変換効率、電極 1 2 b、1 2 c 表面における電極反応の反応速度比を示している。図 3 および図 4 では、20℃での太陽光から電気への変換効率を 1 とし、100℃での反応速度比を 1 としている。図 3 は、活性化エネルギーが 10 kJ/mol の場合を示し、図 4 は、活性化エネルギーが 30 kJ/mol の場合を示している。活性化エネルギーは、還元電極 1 2 b と酸化電極 1 2 c で上述した電極反応が進行するために必要なエネルギーである。

[0037] 図 3、図 4 に示すように、半導体層 1 2 a の太陽光から電気への変換効率は温度上昇に伴って低下する。一方、電極反応の反応速度は温度上昇に伴って上昇する。

[0038] 電極反応における反応生成物の生成効率は、半導体層 1 2 a の太陽光から電気への変換効率と、電極反応の反応速度比を乗じることによって得られる。図 3 に示すように、活性化エネルギーが 10 kJ/mol の場合は、80℃付近で反応生成物の生成効率が最大となっている。図 4 に示すように、活性化エネルギーが 30 kJ/mol の場合は、100℃付近で反応生成物の生成効率が最大となっている。100℃を超える温度では、電極 1 2 b、1 2 c の劣化が進行すること、電解液 1 1 が沸騰すること等の理由から、半導体光触媒 1 2 の温度は 100℃以下とすることが望ましい。

[0039] 本実施形態では、反応生成物の生成効率が最大となる温度を狙って半導体光触媒 1 2 を温度制御している。これにより、太陽光の集光によって半導体光触媒 1 2 で発生する熱エネルギーを、電極 1 2 b、1 2 c 表面で進行する電極反応に積極的に利用することができる。

[0040] 集光レンズ 1 4 による集光を調整することで、半導体層 1 2 a の温度を制御することができる。具体的には、集光レンズ 1 4 の倍率、焦点、位置あるいは方向等を調整することで、集光レンズ 1 4 による集光を調整することが

でき、半導体層 1 2 a の温度が制御可能となる。例えば、半導体層 1 2 a が所望の温度となるように、予め集光レンズ 1 4 の倍率を設定すればよい。

[0041] 以上のような構成により、本実施形態の人工光合成装置 1 が構成されている。次に、本実施形態の人工光合成装置 1 の動作について説明する。

[0042] 上記したように、半導体光触媒 1 2 は、人工光合成装置 1 におけるケース 1 0 に收容した電解液 1 1 の中に浸された状態で使用され、還元電極 1 2 b 側から太陽光が照射されることで人工光合成が行われる。

[0043] 太陽光の照射によって半導体層 1 2 a に光エネルギーが吸収されると、GaAs 層側では吸収した光で電子／正孔対が励起され、バンドの曲がりにより電子はヘテロ接合側、正孔は酸化電極 1 2 c 側（ヘテロ接合の反対側）へ移動する。同様に、GaInP 層側では吸収した光で電子／正孔対が励起され、バンドの曲がりにより正孔はヘテロ接合側、電子は還元電極 1 2 b 側（ヘテロ接合の反対側）へ移動する。

[0044] そして、GaAs 層側のヘテロ接合に集まる電子と GaInP 層側のヘテロ接合に集まる正孔がトンネル現象によって再結合し、GaAs 層側と GaInP 層側との 2 段励起が連続的に繋がることになる。

[0045] また、酸化電極 1 2 c では水を酸化可能なエネルギーを持った正孔が集まり、水の酸化、すなわち酸素生成と水素イオン生成が行われる。還元電極 1 2 b では、酸化電極 1 2 c 側で生成した水素イオンを還元して水素が生成される。二酸化炭素を流した場合には、還元電極 1 2 c で二酸化炭素が還元され、炭素化合物（メタノール等）が合成される。このような反応が繰り返されることで、酸素生成および炭素化合物生成が連続的に行われる。

[0046] 以上説明した本実施形態では、半導体層 1 2 a、還元電極 1 2 b および酸化電極 1 2 c が一体化された半導体光触媒 1 2 に対して、集光レンズ 1 4 によって太陽光を集光している。これにより、半導体層 1 2 a で発生する熱エネルギーを、電極 1 2 b、1 2 c 表面での電極反応に積極的に有効利用できる。

[0047] また、本実施形態では、反応生成物の生成効率が最大となるように、集光

レンズ 1 4 を最適化して半導体光触媒 1 2 を温度制御している。これにより、温度上昇に伴う半導体層 1 2 a の太陽光から電気への変換効率の低下と、温度上昇に伴う電極反応の反応速度の上昇とのバランスをとり、太陽光の集光により半導体層 1 2 a で発生する熱エネルギーを最大限有効活用することが可能となる。

[0048] (第 2 実施形態)

次に、本開示の第 2 実施形態について説明する。本実施形態は、上記第 1 実施形態に対して還元電極 1 2 b の構成が異なっており、その他については第 1 実施形態と同様である。以下、第 1 実施形態と異なる部分についてのみ説明する。

[0049] 図 5 に示すように、本第 2 実施形態では、還元電極 1 2 b は、半導体層 1 2 a の一面側（図 5 における上側）から延びるように設けられている。還元電極 1 2 b は、略円錐面形状若しくは斜面形状となっており、半導体層 1 2 a から離れるほど径が広がっている。

[0050] 本第 2 実施形態では、還元電極 1 2 b として Cu、In、Sn 等の金属電極、若しくは導電性を備える導電性材料を用いることができる。また、還元電極 1 2 b の表面に触媒電極として Pt、NiCo₃O₄等を設けてもよい。

[0051] 電解液 1 1 は、還元電極 1 2 b より下方に存在しているが、還元電極 1 2 b より上方には存在していない。このため、半導体層 1 2 a における還元電極 1 2 b が設けられた一面側は、大気中に露出している。したがって、太陽光は半導体層 1 2 a における一面側の表面に直接照射される。

[0052] 以上説明した本第 2 実施形態によれば、上記第 1 実施形態と同様、集光レンズ 1 4 によって太陽光を集光することで半導体層 1 2 a で発生する熱エネルギーを、電極 1 2 b、1 2 c 表面での電極反応に積極的に有効利用できる。

[0053] また、本第 2 実施形態では、半導体層 1 2 a から延設されたカソード触媒 1 2 b 表面で電極反応が進行する。このため、半導体層 1 2 a のカソード触媒 1 2 b が設けられた一面側（図 5 の上側）の表面では電極反応が進行せず

、半導体層 1 2 a の一面側表面が劣化することを抑制できる。

[0054] また、本第 2 実施形態では、大気中に露出している半導体層 1 2 a の一面側には太陽光が直接入射する。これにより、半導体層 1 2 a における太陽光から電気への変換効率を向上させることができる。

[0055] (他の実施形態)

本開示発明は上述の実施形態に限定されることなく、本開示の趣旨を逸脱しない範囲内で、以下のように種々変形可能である。また、上記各実施形態は、実施可能な範囲で適宜組み合わせてもよい。

[0056] (1) 例えば、集光レンズ 1 4 の倍率、焦点、位置あるいは方向を変更可能なレンズ調整機構を設けてもよい。このようなレンズ調整機構で集光レンズ 1 4 の倍率、焦点、位置あるいは方向の少なくともいずれかを調整することで、半導体光触媒 1 2 が太陽光を吸収した際の温度を調整することが可能となる。

[0057] また、レンズ調整機構に加え、半導体光触媒 1 2 の温度を検出する温度センサと、温度センサによって検出した半導体光触媒 1 2 の温度に基づいてレンズ調整機構を制御する制御装置を設けてもよい。これにより、半導体光触媒 1 2 の温度に基づいて集光レンズ 1 4 を調整することができ、半導体光触媒 1 2 の温度をより適切に制御することが可能となる。

[0058] (2) また、電解液 1 1 の還元電極 1 2 b 側にメディエータを含有させてもよい。メディエータは、二酸化炭素還元反応で電子伝達を仲介する化合物である。メディエータとしては、窒素含有芳香族化合物を用いることができる。芳香族化合物は、 $4n + 2$ 個 (n は整数) の π 電子を含有する非局在 π 電子系を有する平面環である。芳香環は、5、6、7、8、9 個、又は 10 個以上の原子によって形成され得る。芳香族化合物は、単環式および縮合環多環式を含んでいる。

[0059] 窒素含有芳香族化合物は、芳香環の構成原子の 1 以上が N 原子となっている複素芳香族化合物である。窒素含有芳香族化合物は、芳香環の構成原子と結合する 1 以上の水素が、直鎖または分岐鎖低級アルキル基、ヒドロキシ基

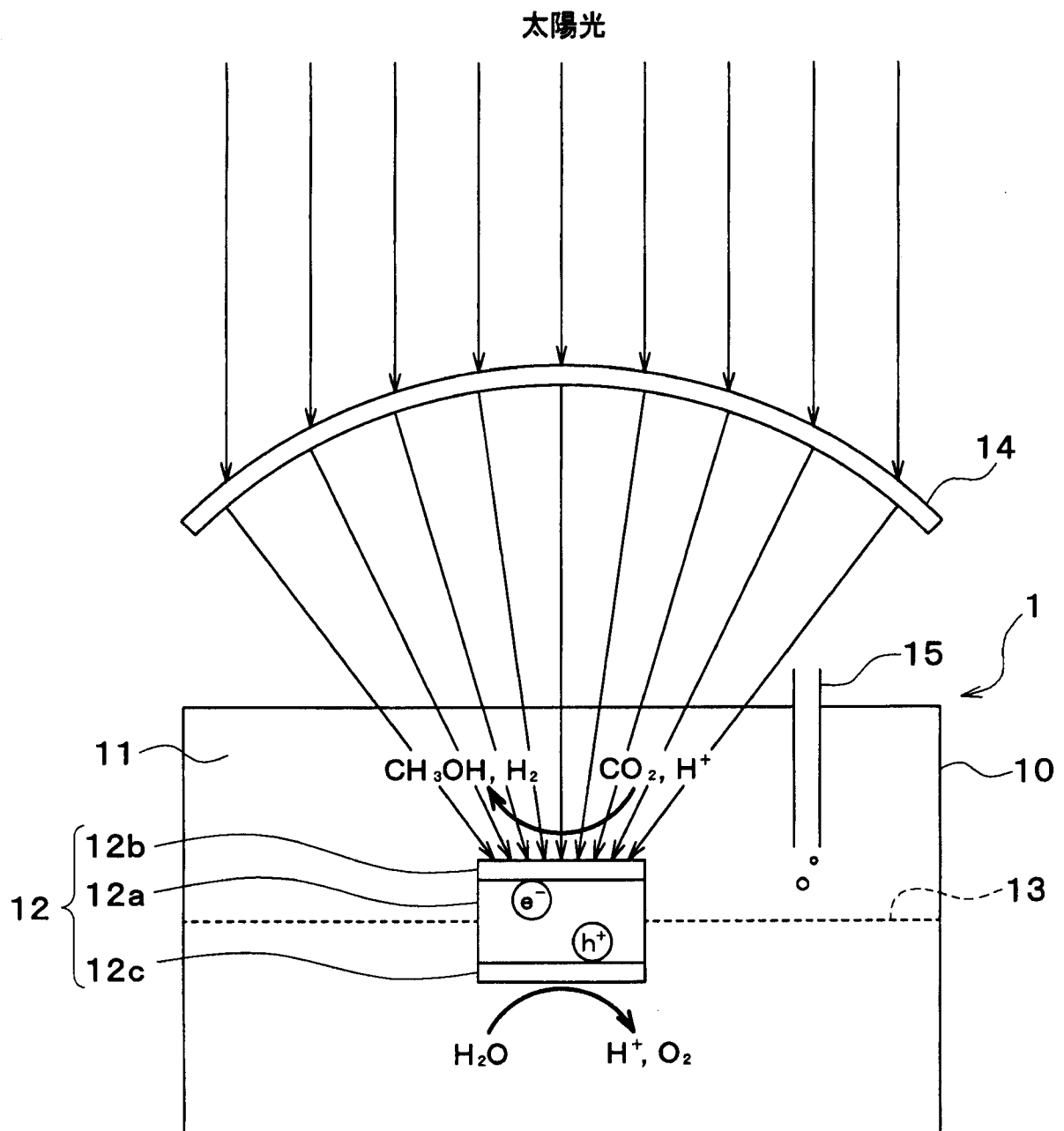
、アミノ基、ピリジル基で置換されていてもよい。このようなメディエータを構成する窒素含有芳香族化合物として、イミダゾール、メチルイミダゾール、ジメチルイミダゾール、トリアゾール、ピリジン、ジメチルアミノピリジンを例示できる。

[0060] 本開示は、実施形態に準拠して記述されたが、本開示は当該実施形態や構造に限定されるものではないと理解される。本開示は、様々な変形例や均等範囲内の変形をも包含する。加えて、様々な組み合わせや形態、さらには、それらに一要素のみ、それ以上、あるいはそれ以下、を含む他の組み合わせや形態をも、本開示の範疇や思想範囲に入るものである。

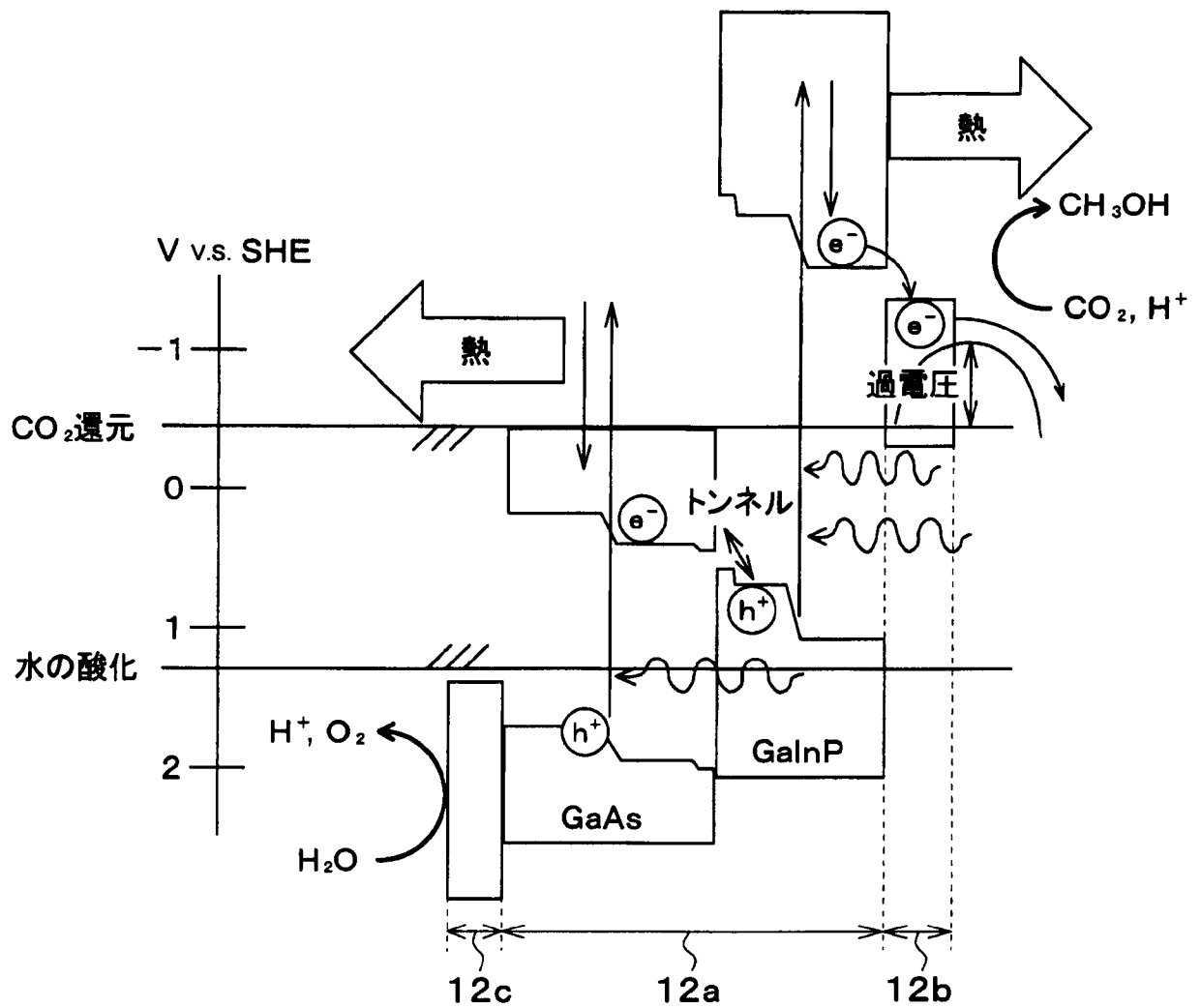
請求の範囲

- [請求項1] 光を所定の倍率で集光する集光レンズ（14）と、
前記集光レンズによって集光された前記光を吸収して内部光電効果
を発生させる半導体層（12a）と、二酸化炭素を還元して炭素化合
物を生成する還元電極（12b）と、水を酸化して酸素および水素イ
オンを生成する酸化電極（12c）とが一体化して構成された半導体
光触媒（12）と、を備え、
前記半導体層は、前記光を吸収して熱を発し、
前記半導体層で発生した前記熱が前記還元電極および前記酸化電極
に伝えられる人工光合成装置。
- [請求項2] 前記集光レンズによる集光を調整することで、前記半導体層の温度
を制御する請求項1に記載の人工光合成装置。
- [請求項3] 前記半導体層の温度が100℃以下となるように、前記集光レンズ
による集光が調整されている請求項2に記載の人工光合成装置。
- [請求項4] 前記半導体層は、III-V族半導体によって構成されている請求
項1ないし3のいずれか1つに記載の人工光合成装置。
- [請求項5] 電解液（11）と、
前記電解液を収容する容器（10）と、をさらに備え、
前記半導体光触媒は、前記電解液に浸されており、
前記半導体層の一面側に前記還元電極が形成され、前記半導体層の
他面側に前記酸化電極が形成されており、
前記還元電極は前記半導体層の一面側の表面から延びるように設け
られており、
前記半導体層には前記一面側から光が照射され、
前記半導体層の一面側が大気中に露出している請求項1ないし4の
いずれか1つに記載の人工光合成装置。

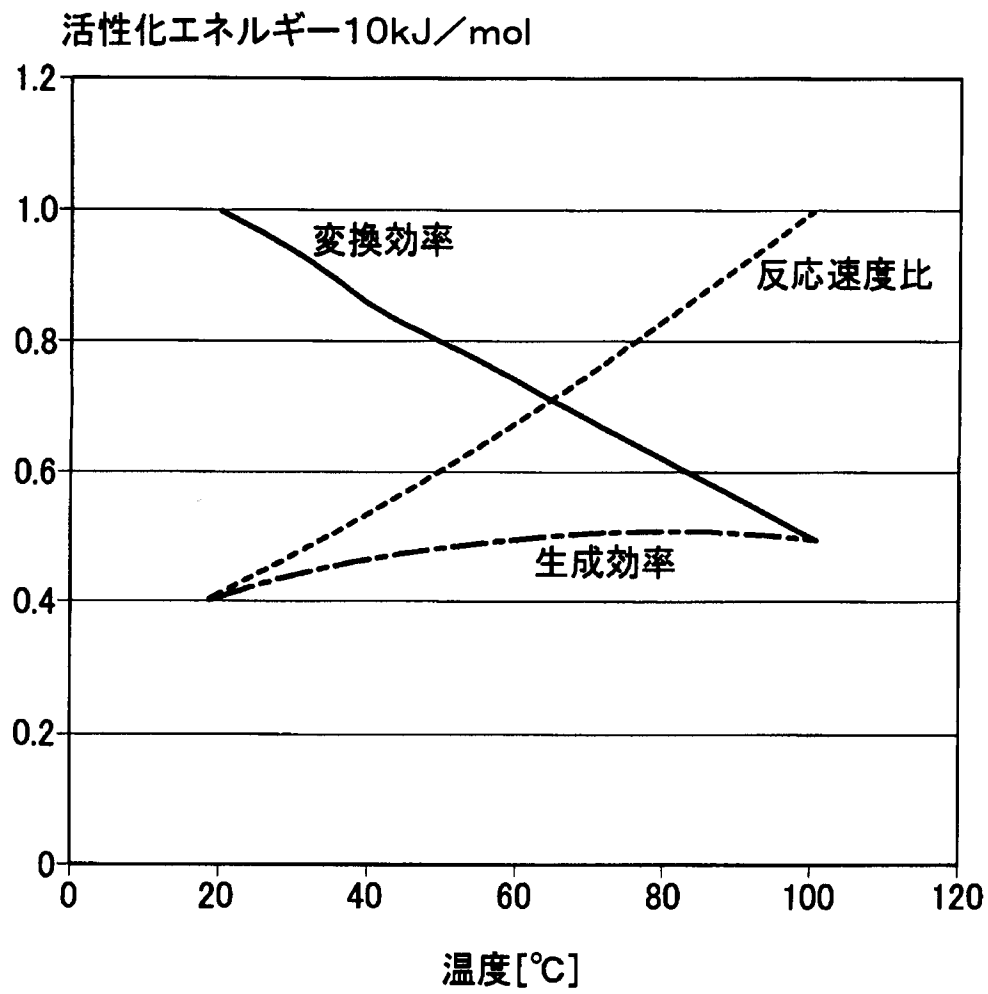
[図1]



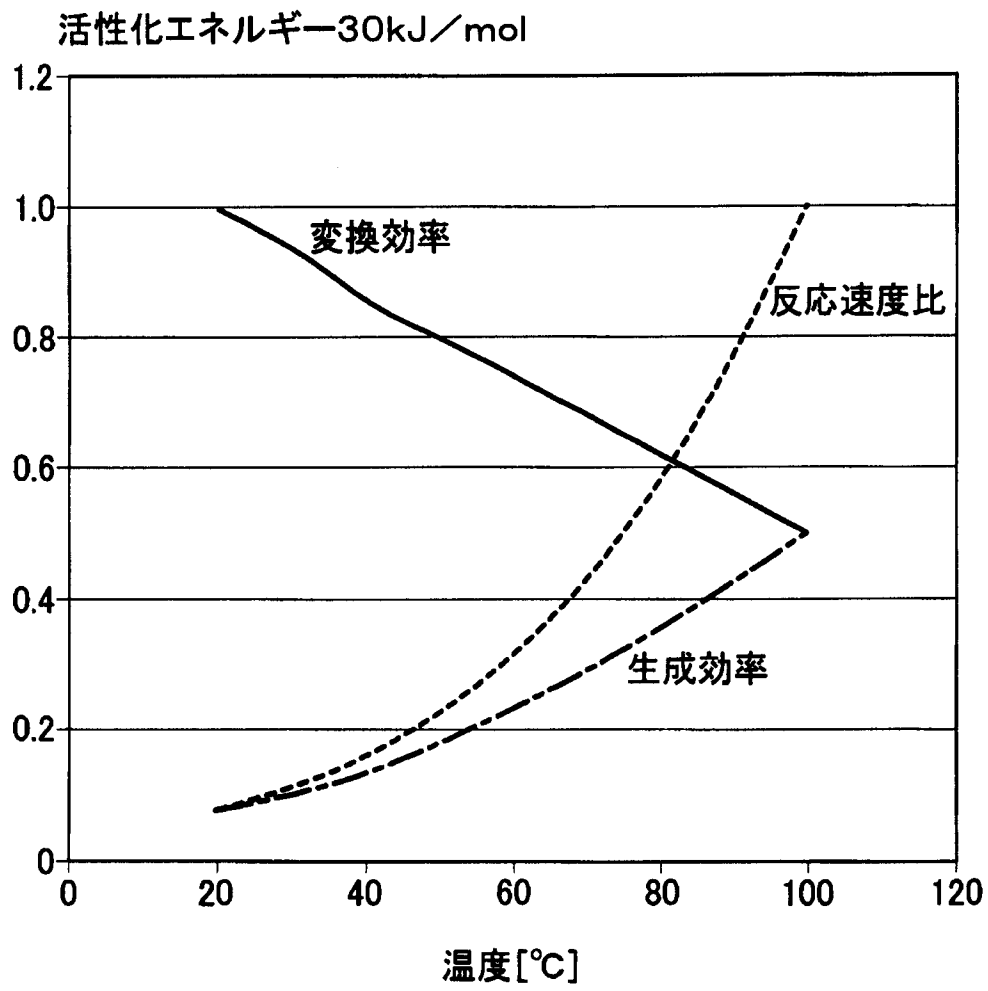
[図2]



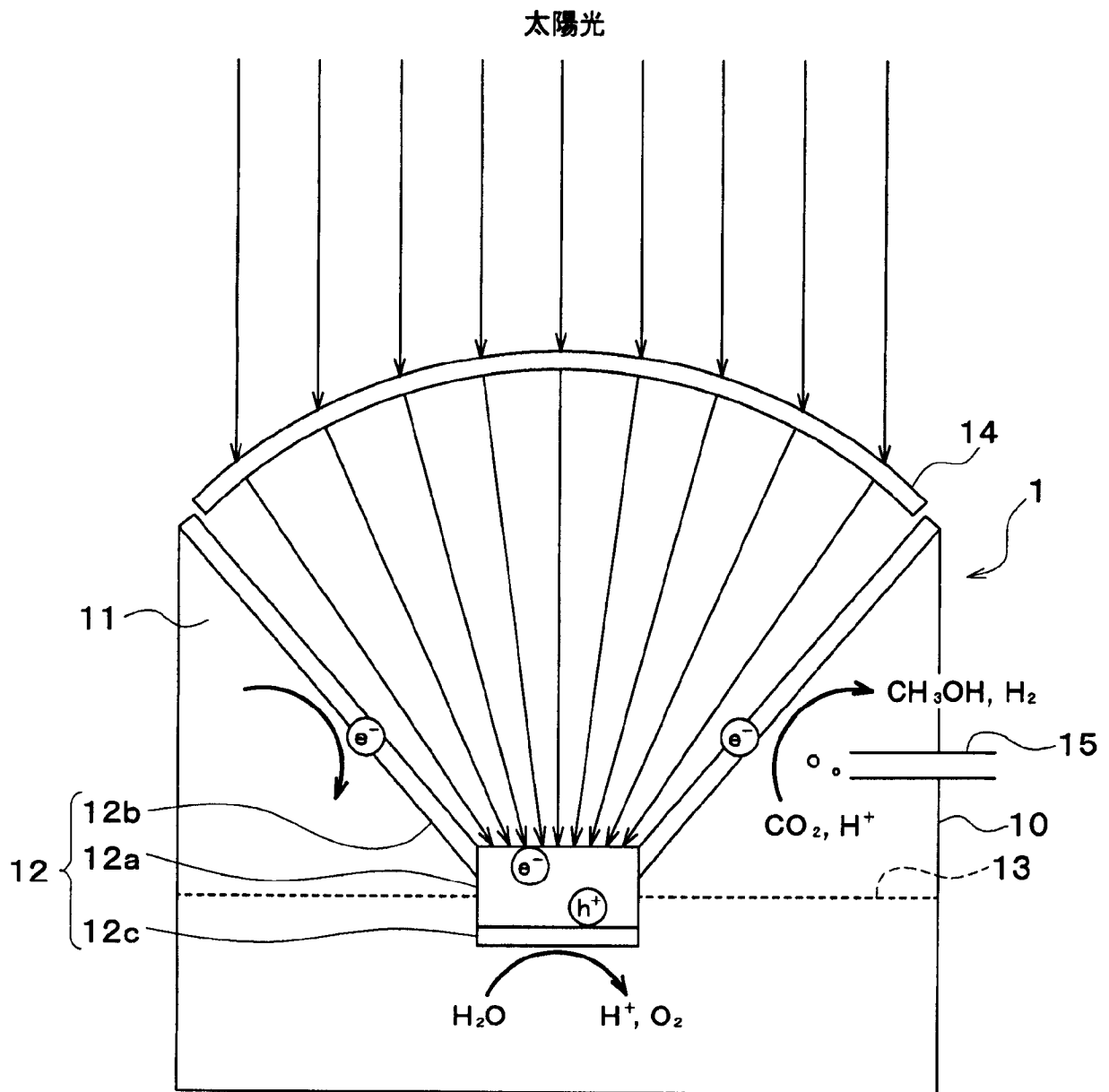
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/016675

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C25B9/00(2006.01)i, B01J35/02(2006.01)i, C25B1/10(2006.01)i, C25B3/04(2006.01)i, C25B11/04(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)

C25B9/00, B01J35/02, C25B1/10, C25B3/04, C25B11/04

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
Y A	JP 2014-101551 A (Toshiba Corp.), 05 June 2014 (05.06.2014), claims; paragraphs [0027], [0051], [0057], [0217] & US 2015/0252482 A1 claims; paragraphs [0050], [0074], [0080], [0240]	1, 4 2-3, 5
Y	WO 2015/019553 A1 (Panasonic Intellectual Property Management Co., Ltd.), 12 February 2015 (12.02.2015), claims & US 2015/0182937 A1 claims	1, 4

☒ 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
31 May 2017 (31.05.17)

Date of mailing of the international search report
13 June 2017 (13.06.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/016675

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-36414 A (Sony Corp.), 23 February 2012 (23.02.2012), paragraph [0003] (Family: none)	1, 4
Y	JP 2015-183218 A (Toshiba Corp.), 22 October 2015 (22.10.2015), paragraphs [0056], [0059] to [0060]; fig. 11 & US 2016/0362798 A1 paragraphs [0070], [0073] to [0074]; fig. 11	1, 4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. C25B9/00(2006.01)i, B01J35/02(2006.01)i, C25B1/10(2006.01)i, C25B3/04(2006.01)i, C25B11/04(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. C25B9/00, B01J35/02, C25B1/10, C25B3/04, C25B11/04

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
Y A	JP 2014-101551 A（株式会社東芝）2014.06.05, 特許請求の範囲, [0027], [0051], [0057], [0217] & US 2015/0252482 A1 特許請求の範囲, [0050], [0074], [0080], [0240]	1, 4 2-3, 5
Y	WO 2015/019553 A1（パナソニックIPマネジメント株式会社） 2015.02.12, 特許請求の範囲 & US 2015/0182937 A1 特許請求の範囲	1, 4

☑ 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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

31.05.2017

国際調査報告の発送日

13.06.2017

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）

坂本 薫昭

4E

9265

電話番号 03-3581-1101 内線 3425

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 請求項の番号
Y	JP 2012-36414 A (ソニー株式会社) 2012. 02. 23, [0003] (ファミリーなし)	1, 4
Y	JP 2015-183218 A (株式会社東芝) 2015. 10. 22, [0056], [0059]-[0060], 図 11 & US 2016/0362798 A1 [0070], [0073]-[0074], FIG. 11	1, 4