

(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
2014 年 1 月 9 日(09.01.2014)



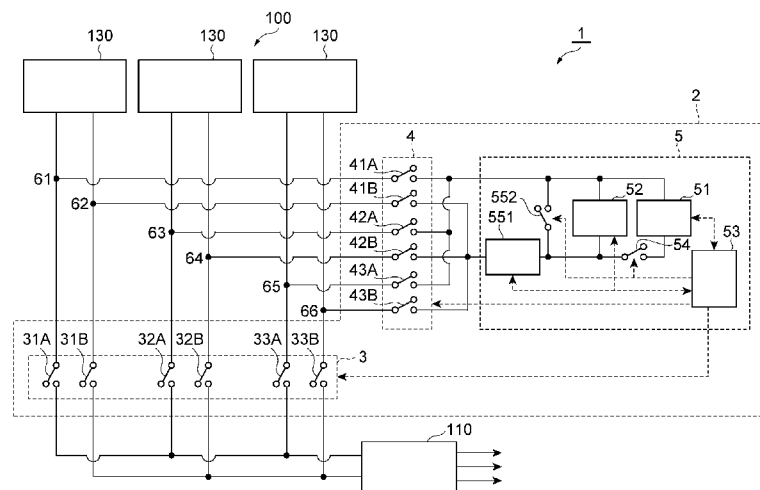
(10) 国際公開番号
WO 2014/007255 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 31/04 (2006.01) *G01R 31/40* (2006.01)
H02J 1/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/068153
- (22) 国際出願日: 2013 年 7 月 2 日(02.07.2013)
- (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 2012-149343 2012 年 7 月 3 日(03.07.2012) JP
- (71) 出願人: J X 日鉱日石エネルギー株式会社(JX NIPPON OIL & ENERGY CORPORATION) [JP/JP];
〒1008162 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 石井 隆文(ISHII Takafumi); 〒1008162 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 3 号 J X 日鉱日石エネルギー株式会社内 Tokyo (JP). 吉富 政宣(YOSHIDOMI Masanobu); 〒4650092 愛知県名古屋市中東区社台 1 丁目 1 1 4 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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

[続葉有]

(54) Title: CURRENT CONTROL APPARATUS FOR SOLAR CELL INSPECTION

(54) 発明の名称: 太陽電池検査用電流制御装置



(57) Abstract: A current source circuit (51) is provided with a constant current apparatus (511), which maintains a current value constant by means of variable resistance, and a voltage source apparatus (512) connected in series to the constant current apparatus (511), and irrespective of whether a solar cell is generating power or not, the current source circuit controls constant a current flowing in the direction equal to the current direction obtained when the solar cell is generating power. The constant current apparatus (511) may be configured from a plurality of elements formed by connecting a current regulation diode (514) and a zener diode (515) in parallel to each other.

(57) 要約: 電流源回路 51 は、可変抵抗により電流値を一定に保つ定電流装置 511 と、定電流装置 511 に直列に接続される電圧源装置 512 とを備え、発電中の太陽電池の電流方向と同一方向への電流を、当該太陽電池が発電中であるか否かに関わらず一定に制御する。なお、定電流装置 511 は、定電流ダイオード 514 及びツェナーダイオード 515 を並列接続してなる複数の素子により構成されてもよい。

WO 2014/007255 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, 添付公開書類:
MR, NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：太陽電池検査用電流制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、太陽電池の検査用の電流を制御する太陽電池検査用電流制御装置に関する。

背景技術

[0002] 太陽光を利用して発電を行う太陽光発電システムの故障としてよく知られるものに、バイパスダイオードのオープンモード故障と、太陽光発電システム内部の導通不良とがある。

[0003] バイパスダイオードのオープンモード故障を検知する方法としては、例えば下記特許文献１に記載されているように、太陽電池を遮蔽版により遮蔽すると共に、この遮蔽版に一体化された感熱紙により太陽電池における遮光部分の温度を検出し、太陽電池の遮蔽部分にホットスポット熱（異常発熱）の発生を検出した場合に、バイパスダイオードに電流が流れていないと判定し、これによりバイパスダイオードがオープンモードで故障していることを判定するものが知られている。

[0004] また、太陽光発電システム内の導通不良を検知する方法としては、例えば下記特許文献２に記載されているように、太陽光発電システムに測定信号波形を印加し、その応答信号波形と測定信号波形を比較することで、太陽光発電システム内の導通不良の存否と場所を検出するものが知られている。

[0005] 更に、導通不良とバイパスダイオードのオープンモード故障の両方を検知する方法として、例えば下記特許文献３に記載されている診断方法が知られている。当該診断方法では、太陽電池が発電していない時間帯において、太陽電池ストリングのブロッキングダイオードを除いた測定対象部位に充電したコンデンサを接続して放電させ、放電時に測定対象部位の電圧及び電流を測定し、その結果得られるＩ－Ｖ特性の変化に基づいて測定対象部位の故障を診断する。このとき、コンデンサの放電により、太陽電池の負極から正極

に電流を流すことで導通不良を判定し、逆に、太陽電池の正極から負極に電流を流すことでバイパスダイオードのオープンモード故障を判定する。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2001-024204号公報

特許文献2：特開2009-21341号公報

特許文献3：特開2011-66320号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上記特許文献1に記載されている診断方法では、バイパスダイオードのオープンモード故障を検出するために太陽電池を遮光する必要があるが、通常、太陽電池は屋根等の高所に設置されることから、遮光する作業が煩雑であり、安全性および費用の観点から日常的な点検に適さないという問題がある。また、当該技術を適用した場合、以下の理由により、バイパスダイオードが故障しているか否かの判定が困難である。すなわち、バイパスダイオードがオープンモード故障をしていない場合であっても、太陽電池を遮光した際に太陽電池にある程度の逆電圧が印加され、太陽電池の発熱が観測される場合がある。その発熱の程度は、その時の日射強度、遮光状態、太陽電池の電流密度、太陽電池の放熱状態、太陽電池のシャント抵抗成分に依存するため、一概に予測することができず、正常な範囲の発熱とバイパスダイオードの故障に起因する発熱とを区別することは極めて困難である。したがって、バイパスダイオードのオープンモード故障を精度良く検出できない虞がある。

[0008] また、上記特許文献2に記載されている導通不良の診断方法では、信号注入への応答を高速で測定する必要があり、そのため正確な測定が困難となり故障診断の精度が低下する虞があった。

[0009] 更に、上記特許文献3に記載されている診断方法では、測定対象部位に不

良がない場合にはコンデンサの電圧に応じた大きな電流が瞬時的に測定対象部位に流れるため、電流測定装置を故障させる虞があり、測定時の安全性の面で好ましくない。測定対象部位での大電流を低減するためにコンデンサの静電容量を小さくすることも考えられるが、この場合は $I-V$ 特性の測定時間が長く取れないため、 $I-V$ 特性の正確な測定が困難となり、故障診断の精度が低下する問題があった。

[0010] このように、太陽光発電システム内の複数の故障診断を行う場合、その故障の種類に応じた大掛かりな装置が必要となるという問題があった。また、個々の診断方法においても、安全且つ容易、正確に故障を検知することが要請されていた。

[0011] そこで、本発明は、かかる課題に鑑みて為されたものであり、太陽光発電システムにおける複数種類の故障を安全、容易、且つ、正確に検知するための太陽電池検査用電流制御装置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

[0012] 上記課題を解決するため、本発明の一側面に係る太陽電池検査用電流制御装置は、可変抵抗により電流値を一定に保つ定電流装置と、定電流装置に直列に接続される電圧源装置とを備え、発電中の太陽電池の電流方向と同一方向への電流を、当該太陽電池が発電中であるか否かに関わらず一定に制御する。

[0013] かかる太陽電池検査用電流制御装置によれば、太陽電池の非発電時には、当該太陽電池の正極負極間に対し当該太陽電池の発電時における電圧と逆符号の電圧が印加され、所与の値の電流が流される。一方、太陽電池の発電時には、当該太陽電池を流れる電流が制御され、所与の値の電流が流される。すなわち、太陽電池の非発電時と発電時の電流値を一定の値に維持することができる。

[0014] ここで、例えば、少なくとも1つのバイパスダイオードを具備し、負荷に対して解列状態にある非発電時における太陽電池モジュールに対して、負極から正極に向かう一定の電流値の電流を供給し、その時に太陽電池モジュール

ルの負極と正極との間に生じる電位差を測定することで、その電位差を基にバイパスダイオードの故障が検出することができる。なぜなら、バイパスダイオードが正常であれば当該電位差がバイパスダイオードの電圧降下値とほぼ同じであり、バイパスダイオードがオープンモード故障していれば太陽電池モジュールの寄生抵抗の電圧降下値が発生するため当該電位差がバイパスダイオードの電圧降下値に比べて大きくなるからである。従って、上述した太陽電池検査用電流制御装置によれば、負荷に対して解列状態にある非発電時の太陽電池モジュールに対して、負極から正極に向かう一定の電流値の電流を供給し、太陽電池モジュールの負極と正極との間に生じる電位差の大きさの違いを検出することにより、バイパスダイオードの故障の有無を容易かつ確実に判定することができる。

[0015] また、例えば、太陽電池内部に導通不良箇所が存在する場合、太陽電池が発電したとき、導通不良箇所が抵抗となって導通不良がない場合と比較して著しく電圧が降下する。従って、上述した太陽電池検査用電流制御装置によれば、負荷に対して解列状態にある発電時の太陽電池モジュールに対して、可変抵抗を制御し負極から正極に向かう電流値を一定の値に制御し、その時に太陽電池モジュールの負極と正極との間に生じる電位差を測定することで、太陽電池の導通不良を容易かつ確実に判定することができる。

[0016] このように、上述した太陽電池検査用電流制御装置によれば、一般的な電圧計さえ用意すれば、大掛かりな装置や高精度な測定機器を用いずに、簡単にバイパスダイオードのオープンモード故障と導通不良の両方を容易かつ確実に検出することができる。また、コンデンサを利用した故障検知方法のように、太陽電池モジュールに大電流を流すおそれも少なく、また $I-V$ 特性のスキップの必要もない。これにより、検査時の安全性を確保しつつ、上述したバイパスダイオードの故障及び導通不良の故障の故障診断を、一台の装置で特別な制御を行うことなく実施することができる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、非発電時及び発電時の太陽電池を検査するための電流を

、安全性を確保しつつ制御することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の実施形態に係る太陽光発電システムを示す構成図である。

[図2]図1の太陽光発電システムに含まれる太陽電池ストリングの詳細構成を示す図である。

[図3]図2の太陽電池セルの等価回路を示す図である。

[図4]非発電時における図2の太陽電池ストリングの電流－電圧特性を示すグラフである。

[図5]発電時における図2の太陽電池モジュールの電流－電圧特性を示すグラフである。

[図6]発電時における図2の太陽電池ストリングの電流－電圧特性を示すグラフである。

[図7]本発明の実施形態に係る電流源回路を示す構成図である。

[図8]図7の電流源回路の電流－電圧特性を示すグラフである。

[図9]非発電時における図2の太陽電池ストリングの電流－電圧特性を示すグラフである。

[図10]発電時における図2の太陽電池ストリングの電流－電圧特性を示すグラフである。

[図11]本発明の実施形態に係る電流源回路を示す回路構成図である。

[図12]電流値がずれたCRDを直列接続した際のI－V特性を示す図である。

[図13]CRDとツェナーダイオードとを並列接続した際のI－V特性を示す図である。

[図14]3つの定電流素子のI－V特性を示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、添付図面を参照しながら本発明による太陽電池検査用電流制御装置の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0020] [太陽光発電システムの全体構成]

図1は、本発明の実施形態に係る太陽光発電システムの構成図であり、図2は、図1の太陽光発電システムに含まれる太陽電池ストリングの詳細構成を示す図である。図1に示す太陽光発電システム1は、太陽光エネルギーを利用して発電を行う発電システムであり、例えば屋根等の高所に設置され、200V以上の出力電圧を有する系統連系型のものとされている。太陽光発電システム1は、太陽電池アレイ100とパワーコンディショナ110とを具備している。なお系統連系型システムに限定する必要はなく、電力系統から独立（自立）した独立型システムであっても良い。

[0021] 太陽電池アレイ100は、太陽光エネルギーを電気エネルギーへ変換し、直流出力としてパワーコンディショナ110へ供給する。図2に示すように、太陽電池アレイ100は、太陽電池モジュール120が複数直列接続されてなる太陽電池ストリング130を、少なくとも1つ備えている。ここでは、3つの太陽電池ストリング130が互いに並列接続されて太陽電池アレイ100が構成されている。これらの太陽電池ストリング130は、パワーコンディショナ110に対し、後述する故障検知システム2のスイッチ群を介して接続されている。

[0022] パワーコンディショナ110は、太陽電池アレイ100から供給された直流出力を交流出力に変換し、この交流出力を後段の負荷装置に繋がる電力系統（例えば商用電力系統）へ供給する。このパワーコンディショナ110は、太陽電池アレイ100の最大出力が得られるよう太陽電池アレイ100の動作電圧を制御する動作電圧制御機能と、電力系統の異常が検知された場合に安全にシステム停止する等の系統保護機能と、を有している。なお、パワーコンディショナ110は、絶縁トランスを有するトランス絶縁型であってもよいし、トランスレス（非絶縁）型であってもよい。

[0023] 太陽電池モジュール120は、パネル状に構成されており、図2に示すように、互いに直列接続された複数（ここでは、6つ）の太陽電池セル140を備えている。また、太陽電池モジュール120は、複数の直列接続された

太陽電池セル１４０に並列に接続されたバイパスダイオード１５０を含んでいる。すなわち、バイパスダイオード１５０のアノード端子が太陽電池モジュール１２０の負極側に接続され、バイパスダイオードのカソード端子が太陽電池モジュールの正極側に接続されている。なお、太陽電池モジュール１２０は、複数の太陽電池セル１４０とそれらに並列接続されたバイパスダイオード１５０からなる太陽電池クラスタを複数有していてもよい。

[0024] 複数の太陽電池セル１４０は、太陽光を利用して発電を行うものであり、マトリクス状に並置された状態でアルミフレームに固定されていると共に、その受光面側が強化ガラスで覆われている。太陽電池セル１４０としては、例えば０．５Ｖの出力電圧の結晶系太陽電池セルが用いられている。

[0025] バイパスダイオード１５０は、複数の太陽電池セル１４０に並列接続されている。バイパスダイオード１５０としては、順方向電圧を小さくし且つ逆回復時間を短縮化するために、例えばショットキーバリアダイオードが用いられている。このバイパスダイオード１５０は、太陽電池モジュール１２０に逆電圧が印加されたときに電流が流れるよう設けられており、その順方向が太陽電池モジュール１２０内における太陽電池セル１４０の等価寄生ダイオードの順方向に対し逆方向とされている。具体的には、バイパスダイオード１５０のカソード側は、太陽電池モジュール１２０を直列接続する電路上において、太陽電池モジュール１２０の正極側に接続されている。また、バイパスダイオード１５０のアノード側は、電路上において太陽電池モジュール１２０の負極側に接続されている。

[0026] 図３には、太陽電池セル１４０の等価回路図を示している。同図に示すように、太陽電池セル１４０は、電流源１４１と、寄生ダイオード１４２と、シャント抵抗１４３との並列回路と等価と考えることができる。すなわち、太陽電池セル１４０は、日射強度に応じた電流をセル１４０の内部で負極から正極に向けて生成する電流源１４１と、セル１４０の内部の正極から負極に向けた方向を順方向とする寄生ダイオード１４２と、数百～１ｋΩ（理想的には無限大Ω）の抵抗値を有するシャント抵抗１４３を含むものと等価で

ある。この寄生ダイオード 142 の存在により、太陽電池セル 140 には、日射状態にかかわらず逆方向電流が生じている。また、太陽電池セル 140 に電流源 141 の生成する電流以上の電流を負極から正極に向けて生じさせた場合には、その電流は、シャント抵抗 143 を流れるか、寄生ダイオード 142 を降伏させて流れるかのいずれかとなる。

[0027] 図 1 に戻って、太陽光発電システム 1 に含まれる故障検知システム 2 の構成を説明する。故障検知システム 2 は、パワーコンディショナ 110 を含む負荷装置に対して解列状態に切り替えた太陽電池ストリング 130 を対象にして、太陽電池ストリング 130 に内蔵されたバイパスダイオード 150 の故障及び太陽電池ストリング 130 の導通不良を検知するための装置群である。詳細には、故障検知システム 2 は、スイッチ群（スイッチング部）3、4、及び故障検知装置 5 によって構成されている。

[0028] スイッチ群 3 は、3 つの太陽電池ストリング 130 とパワーコンディショナ 110 との接続を故障検査時に解列状態に切り替えるために設けられ、太陽電池ストリング 130 の数に対応した 6 つのスイッチング素子 31A、31B、32A、32B、33A、33B によって構成されている。スイッチング素子 31A、31B、32A、32B、33A、33B は、太陽電池ストリング 130 とパワーコンディショナ 110 との電氣的接続を制御する開閉器である。スイッチング素子 31A、31B、32A、32B、33A、33B としては、電流を遮断するものであれば如何なる構成のものも用いることができ、例えば、FET（Field Effect Transistor）や IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）等の半導体スイッチ、機械式リレー等の電磁開閉器を用いることができる。このスイッチング素子 31A、31B、32A、32B、33A、33B は、通常時（発電時）には閉状態とされ、太陽電池ストリング 130 及びパワーコンディショナ 110 を互いに接続させる一方、故障検査時には開状態とされ、これらを互いに解列状態にさせる。

[0029] 具体的には、スイッチング素子 31A、32A、33A は、それぞれの太陽電池ストリング 130 の正極とパワーコンディショナ 110 の一方の入力

端子との間をつなぐ電路上に設けられ、スイッチング素子 3 1 B, 3 2 B, 3 3 B は、それぞれの太陽電池ストリング 1 3 0 の負極とパワーコンディショナ 1 1 0 の他方の入力端子との間をつなぐ電路上に設けられる。なお、スイッチ群 3 は、太陽電池ストリング 1 3 0 の正極及び負極につながる両方の電路上に設けられているが、いずれかの電路上のみに設けられてもよい。例えば、スイッチ群 3 は、スイッチング素子 3 1 A, 3 2 A, 3 3 A のみから構成されていてもよい。このような構成でも、故障検査時に太陽電池ストリング 1 3 0 及びパワーコンディショナ 1 1 0 を互いに解列状態とすることができる。

[0030] また、スイッチ群 4 は、3つの太陽電池ストリング 1 3 0 と故障検知装置 5 との間を故障検査時に電氣的に接続するために設けられ、太陽電池ストリング 1 3 0 の数に対応した 6 つのスイッチング素子 4 1 A, 4 1 B, 4 2 A, 4 2 B, 4 3 A, 4 3 B によって構成されている。スイッチング素子 4 1 A, 4 1 B, 4 2 A, 4 2 B, 4 3 A, 4 3 B は、太陽電池ストリング 1 3 0 と故障検知装置 5 との電氣的接続を制御する開閉器であり、スイッチ群 3 と同様な半導体スイッチや電磁開閉器等を採用できる。このスイッチング素子 4 1 A, 4 1 B, 4 2 A, 4 2 B, 4 3 A, 4 3 B は、通常時（発電時）には開状態とされ、及び故障検知装置 5 を太陽電池ストリング 1 3 0 から電氣的に切断させる一方、バイパスダイオード検査時には閉状態とされ、これらを互いに接続状態にさせる。

[0031] 具体的には、スイッチング素子 4 1 A, 4 2 A, 4 3 A は、それぞれの太陽電池ストリング 1 3 0 の正極と故障検知装置 5 の一方の接続端子との間をつなぐ電路上に設けられ、スイッチング素子 4 1 B, 4 2 B, 4 3 B は、それぞれの太陽電池ストリング 1 3 0 の負極と故障検知装置 5 の他方の接続端子との間をつなぐ電路上に設けられる。なお、スイッチ群 4 は、太陽電池ストリング 1 3 0 の正極及び負極につながる両方の電路上に設けられているが、いずれかの電路上のみに設けられてもよい。例えば、スイッチ群 4 は、スイッチング素子 4 1 A, 4 2 A, 4 3 A のみから構成されていてもよい。こ

のような構成でも、通常時に太陽電池ストリング１３０及び故障検知装置５を互いに切断状態とすることができる。

[0032] なお、太陽電池ストリング１３０とパワーコンディショナ１１０の間には、太陽電池ストリング１３０に逆電流が流れることを防止する逆流防止ダイオード（不図示）が、太陽電池ストリング１３０の正極側または負極側（或いは両方極）の電路上に直列に接続される。この逆流防止ダイオードは、故障検知装置５による測定対象となる電路内に位置する構成としても良いし、測定対象の電路外に位置する構成としても良い。すなわち、スイッチ群３の位置や故障検知装置５との接続点６１～６６の位置にかかわらず、太陽電池ストリングの正極（または負極）とパワーコンディショナ１１０とを結ぶ電路上のいずれに位置しても良い（ただし、他の太陽電池ストリング１３０との並列接続点より太陽電池ストリング１３０側に位置する必要がある）。

[0033] 故障検知装置５は、電流源回路５１（太陽電池検査用電流制御装置）、電圧測定部５２、制御／判定部５３、スイッチ５４、電流測定部５５１及びスイッチ５５２によって構成されている。電流源回路５１は、規定の電流値の定電流を生成する回路であり、その両端子は、それぞれ、スイッチング素子４１Ａ、４２Ａ、４３Ａ及びスイッチング素子４１Ｂ、４２Ｂ、４３Ｂを経由して、３つの太陽電池ストリング１３０の正極及び負極に接続可能にされている。ここで、電流源回路５１の生成する電流の電流値は、制御／判定部５３による制御によって調整可能にされている。このような電流源回路５１により、３つの太陽電池ストリング１３０のいずれかに対して、負極から正極に向かう規定の電流値の電流が供給される。

[0034] 電圧測定部５２は、太陽電池ストリング１３０の負極と正極との間の電位差を測定するための回路部であり、その両端子は、それぞれ、スイッチング素子４１Ａ、４２Ａ、４３Ａ及びスイッチング素子４１Ｂ、４２Ｂ、４３Ｂを経由して、３つの太陽電池ストリング１３０の正極及び負極に接続可能にされている。ここで、電圧測定部５２による電位差の測定タイミングは、制御／判定部５３による制御可能にされており、電圧測定部５２によって測定

された電位差を示す信号は、制御／判定部 53 によって取得可能にされている。このような電圧測定部 52 により、3つの太陽電池ストリング 130 のいずれかにおける電位差が測定される。

[0035] 制御／判定部 53 は、バイパスダイオードの故障検査及び導通不良の故障検査時において、スイッチ群 3, 4 及びスイッチ 54 の開閉状態を切り替えるように制御し、電圧測定部 52 によって測定される電位差を取得する。そして、制御／判定部 53 は、取得した電位差に基づいていずれかの太陽電池ストリング 130 に内蔵されるバイパスダイオード 150 の故障及び太陽電池ストリング 130 の導通不良を検知して検知結果を出力する。

[0036] また、制御／判定部 53 は、検査用に接続された太陽電池ストリング 130 が発電しているか否かを判定する。具体的には、制御／判定部 53 は、電流源回路 51 を解列するためのスイッチ 54 を開いて定電流が流れない状態とすると共に、太陽電池ストリング 130 を短絡させるためのスイッチ 552 を閉じて、電流計 551 により短絡電流値を測定し、規定値と比較することによって太陽電池ストリング 130 が発電中であるか否かを判定する。例えば、制御／判定部 53 は、測定された短絡電流値と規定値とを比較し、発電中であるか否かを判定する。あるいは、短絡電流値 I_{sc} と後述する定電流値 I_1 の比率により太陽電池ストリング 130 が発電中であるか否かを判定することとしてもよい。例えば、 $I_{sc}/I_1 > \alpha$ であれば発電中（日中）とし、 $I_{sc}/I_1 < \beta$ であれば非発電中（夜間）と判定することとしても良い。このような制御／判定部 53 は、アナログ回路、デジタル回路等の回路部によって構成されてもよいし、マイクロコンピュータ等の情報処理装置によって構成されてもよい。

[0037] 電流測定部 551 は、制御／判定部 53 の指示信号に応じて、検査用に接続された太陽電池ストリング 130 を流れる電流を測定する。

[0038] [バイパスダイオードの故障検査]

続いて、太陽電池ストリング 130 に内蔵されるバイパスダイオード 150 の故障検査について説明する。まず、太陽電池ストリング 130 の正常時

及びバイパスダイオード故障時の電流－電圧特性（以下、「 $I-V$ 特性」という。）について説明する。

[0039] 図4（a）は、太陽電池ストリング130の夜間（低日射強度時の）の $I-V$ 特性を示すグラフであり、図4（b）は、図4（a）の $I-V$ 特性の一部を詳細に示すグラフである。同図中において、L1が正常時の太陽電池ストリング130の $I-V$ 特性、L2がバイパスダイオード故障時の太陽電池ストリング130の $I-V$ 特性を示している。なお、これらの特性においては、太陽電池ストリング130の正極の電位が負極の電位よりも高い場合が正電圧（ $V > 0$ ）を示し、太陽電池ストリング130の内部において負極から正極に向かう電流を正電流（ $I > 0$ ）で示している。太陽電池ストリング130には複数のバイパスダイオード150が内部の負極から正極に向かう方向を順方向にして含まれているので、正常時の夜間に正電流（ $I > 0$ ）を発生させた場合は、太陽電池セル140のシャント抵抗143（図3）にはほとんど電流が流れないため、その電流のほとんどがバイパスダイオード150を順方向に流れる結果、太陽電池ストリング130の両端の電圧 V は電流が増加してもほとんど0V近傍で変化しない。

[0040] 一方、太陽電池ストリング130に含まれるいずれかのバイパスダイオード150にオープンモード故障（通電しない状態で故障）が発生した場合であって、夜間に正電流（ $I > 0$ ）を発生させた場合は、故障したバイパスダイオード150にはほとんど電流が流れず、そのバイパスダイオード150に並列接続された太陽電池セル140のシャント抵抗143に電流が流れ込むため、太陽電池ストリング130の両端の電圧 V は電流が増加するにしたがってほぼ線形に増加する。また、太陽電池ストリング130では、その両端を短絡した場合（ $V = 0$ ）でも、日射状態に応じて変化する短絡電流 I_{sc} が発生する。

[0041] 上述した太陽電池ストリングの $I-V$ 特性を利用して、制御／判定部53は、太陽電池ストリング130に含まれるバイパスダイオード150の故障を判定する。具体的には、制御／判定部53は、スイッチ群3を制御して、

いずれか1つの検査対象の太陽電池ストリング130（以下、検知対象ストリングとも言う。）とパワーコンディショナ110との間を解列状態に設定すると同時に、スイッチ群4を制御して、検知対象ストリング130と故障検知装置5の電流源回路51及び電圧測定部52とを接続する。例えば、制御／判定部53は、スイッチング素子31A、31Bのペア、スイッチング素子32A、32Bのペア、或いはスイッチング素子33A、33Bのペアのいずれかのペアを開状態に制御するとともに、それに対応して、スイッチング素子41A、41Bのペア、スイッチング素子42A、42Bのペア、或いはスイッチング素子43A、43Bのペアのいずれかのペアを閉状態に制御する。

[0042] この状態で、制御／判定部53は、スイッチ54を閉じた状態にし、電流源回路51を制御して、検知対象ストリング130の負極から正極に向けて夜間の平均的な短絡電流値 I_{sc} よりも大きい電流値 I_1 の電流を発生させる。さらに、制御／判定部53は、電圧測定部52によって測定された検知対象ストリング130の電位差が規定の閾値 V_{TH0} よりも大きいかな否かを判定し、電位差が閾値 V_{TH0} よりも大きい場合に検知対象ストリング130に含まれるいずれかのバイパスダイオード150の故障を検知する。このような制御／判定部53の機能により、検知対象ストリング130の $I-V$ 特性が図4に示す特性 L_1 、 L_2 のいずれの特性にあるかを判別することができ、 $I-V$ 特性が特性 L_2 であると判別された場合にバイパスダイオード150の故障を検知することができる。すなわち、電圧測定部52によって測定される電位差は、特性 L_1 、 L_2 上における電流 $I = I_1$ に対する電圧 V の大きさに相当しているので、電位差と閾値 V_{TH0} とを比較することで検知対象ストリング130の $I-V$ 特性が特性 L_1 、 L_2 のいずれの状態にあるかが判別可能とされる。

[0043] また、制御／判定部53は、検知対象ストリング130に電流値 I_1 の電流を供給させた際に電圧測定部52によって測定された当該検知対象ストリング130の電位差が、予め規定された閾値 V_{TH1} （ $>$ 閾値 V_{TH0} ）以上となっ

た場合に、電流源回路 5 1 による検知対象ストリング 1 3 0 に対する電流の供給を停止させるように制御する。この際、制御／判定部 5 3 は、バイパスダイオードの故障検査のためにスイッチ群 3, 4 の開閉状態を切り替えたタイミングで、当該検知対象ストリング 1 3 0 の電位差のモニタリングを開始し、そのモニタリング結果に応じて検知対象ストリング 1 3 0 に対する電流の供給を停止するか否かを継続して判定する。

[0044] 次に、上述した太陽光発電システム 1 を対象にしたバイパスダイオード 1 5 0 の故障検査の手順を説明するとともに、本実施形態に係る故障検知方法について詳述する。

[0045] まず、故障検知装置 5 の制御／判定部 5 3 により、内蔵する計時機能を利用して所定時刻が到来したか否かが判定されて、所定時刻の到来が検知されたタイミングでバイパスダイオードの故障検査処理が開始される。例えば、夜間の時刻の到来が検知されたタイミングでは太陽電池ストリング 1 3 0 の短絡電流値 I_{sc} が極めて小さく $I-V$ 特性が安定しているので、このタイミングで故障検査処理が開始されることによりバイパスダイオードの故障の誤検知が防止される。

[0046] 次に、制御／判定部 5 3 によりスイッチ群 3, 4 が制御されて、いずれか 1 つの検知対象ストリング 1 3 0 とパワーコンディショナ 1 1 0 との間が解列状態に設定されると同時に、検知対象ストリング 1 3 0 と故障検知装置 5 とが接続される。ここで、解列状態に設定される際には、検知対象ストリング 1 3 0 の両極が切断されてもよいし、検知対象ストリング 1 3 0 の片極側のみが切断されてもよい。この状態において、故障検知装置 5 の制御／判定部 5 3 により、検知対象ストリング 1 3 0 が発電中か非発電中かが判定され、非発電中であるときに以下の処理が開始される。他方、一定量の発電量があるときは、故障検査処理が中止され、当該検知対象ストリング 1 3 0 が故障検知装置 5 から切り離されて、パワーコンディショナ 1 1 0 に接続される。

[0047] その後、故障検知装置 5 の電流源回路 5 1 から検知対象ストリング 1 3 0

に対して、負極から正極に向けて電流値 I_1 の電流が供給される。このタイミングで、電圧測定部 52 により、検知対象ストリング 130 の負極と正極との間の電位差が測定され、その測定値が制御／判定部 53 に渡される。これに対して、制御／判定部 53 により、電位差の測定値が規定の閾値 V_{TH0} よりも大きいかなんかが判定され、その判定結果を基に検知対象ストリング 130 に含まれるいずれかのバイパスダイオード 150 の故障が検知される。そして、制御／判定部 53 により、検知結果がディスプレイや LED 等の出力装置に出力される。最後に、バイパスダイオードの故障が検知されなかった場合（バイパスダイオードが正常と判定された場合）には、制御／判定部 53 によりスイッチ群 3, 4 が制御されて、検知対象ストリング 130 と故障検知装置 5 との間の接続が解除されると同時に、検知対象ストリング 130 とパワーコンディショナ 110 との間が接続状態に設定される。

[0048] 以上説明した故障検知システム 2 及びそれを利用したバイパスダイオードの故障検知方法によれば、負荷装置に対して解列状態にある太陽電池ストリング 130 に対して、負極から正極に向かう規定の電流値 I_1 の電流が供給され、その時に太陽電池ストリング 130 の負極と正極との間に生じる電位差が測定され、その電位差を基にバイパスダイオード 150 の故障が検出される。すなわち、バイパスダイオード 150 が正常であれば当該電位差がバイパスダイオード 150 の電圧降下値とほぼ同じであり、バイパスダイオード 150 がオープンモード故障していれば太陽電池セル 140 の寄生抵抗の電圧降下値が発生するため当該電位差がバイパスダイオード 150 の電圧降下値に比べて大きくなる。従って、上述した故障検知システム 2 を利用した故障検知方法によれば、その電位差の大きさの違いを検出することにより、バイパスダイオード 150 の故障の有無を高精度に判定することができる。また、定電流状態における電位差を測定することで、太陽電池ストリングに大電流を流すおそれも少なく、コンデンサを利用した従来の故障検知方法のように $I-V$ 特性のスキップの必要もない。これにより、検査時の安全性を確保しつつ簡易かつ正確にバイパスダイオード 150 の故障を検知することが

できる。

[0049] 上述した故障検知システム2においては、太陽電池ストリング130に関して測定された電位差が閾値 V_{TH0} よりも大きい場合にバイパスダイオードの故障が検知されるので、簡易な処理や回路構成でバイパスダイオード150の故障を検知することができる。また、太陽電池ストリング130に対して検査時に供給する電流の値 I_1 は、太陽電池ストリング130の夜間の平均の短絡電流値 I_{sc} よりも大きいので、太陽電池ストリング130の発電状態に関わらずバイパスダイオード150の故障を精度よく検出することができる。

[0050] また、太陽電池ストリング130に関して測定された電位差が閾値 V_{TH1} 以上となった場合に太陽電池ストリング130への電流の供給が停止されるので、故障検査時に太陽電池ストリング130に高電圧を印加することによる太陽電池ストリング130の故障を防止することができる。すなわち、太陽電池ストリング130に短絡電流よりも大きな定電流を流すと、太陽電池ストリング130において発電時に発生する電圧に対して逆方向の高電圧を発生させる恐れがあるが、太陽電池ストリング130の電位差が大きくなりすぎた場合に電流の供給を停止することで、このような高電圧の発生を防止することができる。

[0051] [導通不良の故障検査]

続いて、太陽電池ストリング130における導通不良の故障検査について説明する。まず、太陽電池モジュール120及び太陽電池ストリング130の正常時及び導通不良時の電流－電圧特性（以下、「 $I-V$ 特性」という。）について説明する。

[0052] 図5は、太陽電池モジュール120の日中（発電中）の $I-V$ 特性を示すグラフである。同図中において、L3が導通不良の無い太陽電池モジュール120の $I-V$ 特性、L4が導通不良のある太陽電池モジュール120の $I-V$ 特性を示している。なお、これらの特性においては、太陽電池モジュール120の正極の電位が負極の電位よりも高い場合が正電圧（ $V > 0$ ）を示

し、太陽電池モジュール120の内部において負極から正極に向かう電流を正電流 ($I > 0$) で示している。

[0053] 日中（発電中）は、太陽電池モジュール120において導通不良箇所があっても、完全に断線しない限りは開放電圧は変わらない。しかし、太陽電池モジュール120に電流を流した時、太陽電池モジュール120内の導通が正常であれば、図5の特性L3の通り、通常の太陽電池の特性に従って電圧が低下するのに対して、太陽電池モジュール120内に導通不良があると、導通不良箇所が抵抗となり、図5の特性L4の通り、電圧が著しく下がる。なお、電流を増加していくと、導通不良箇所を含む太陽電池モジュール120の電圧は、0Vまで落ちる。しかし、それ以上電流を増やしても、バイパスダイオード150が起動するため、0V（正確にはバイパスダイオード150による電圧降下分）よりも落ちることはない。

[0054] 図6（a）は、太陽電池ストリング130の日中（発電中）のI-V特性を示すグラフである。図6（a）に示すグラフは、太陽電池ストリング130に含まれる各太陽電池モジュール120のI-V特性を直列合成したものである。同図中において、L3が導通不良の無い太陽電池ストリング130のI-V特性、L4が導通不良のある太陽電池ストリング130のI-V特性を示している。図6（a）に示す通り、日中（発電中）は、太陽電池ストリング130において導通不良箇所があっても無くても、完全断線がない限り開放電圧 V_{oc} は変わらない。しかし、太陽電池ストリング130に、太陽電池ストリング130が発電可能な電流に比較して僅かな電流 I_1 を流した時、太陽電池ストリング130内の導通が正常であれば、図6（a）の特性L3の通り、通常の太陽電池の特性に従って、ほとんど電圧が低下しないのに対し、太陽電池ストリング130内に導通不良があると、導通不良箇所が抵抗となり、図6（a）の特性L4の通り、特性L3と比べて電圧が著しく下がる（ ΔV ）。

[0055] 図6（b）は、図6（a）に示すグラフのうち、開放電圧 V_{oc} 付近のグラフを拡大して示した図である。図6（b）に示す通り、特性L3において電流

I_1 を流した時の電圧を V_1 、開放電圧 V_{oc} と V_1 との差を ΔV_1 、特性 L_4 において電流 I_1 を流した時の電圧を V_2 、開放電圧 V_{oc} と V_2 との差を ΔV_2 とする。図6(b)に示す通り、太陽電池ストリング130に電流 I_1 を流した時、特性 L_3 では電圧は ΔV_1 低下するのに対し、特性 L_4 では電圧は、 ΔV_1 よりはるかに大きい ΔV_2 低下する。

[0056] 上述した太陽電池ストリングの $I-V$ 特性を利用して、制御／判定部53は、太陽電池ストリング130の導通不良を判定する。具体的には、制御／判定部53は、スイッチ群3を制御して、いずれか1つの検査対象の太陽電池ストリング130（以下、検知対象ストリングとも言う。）とパワーコンディショナ110との間を解列状態に設定すると同時に、スイッチ群4を制御して、検知対象ストリング130と故障検知装置5の電流源回路51及び電圧測定部52とを接続する。例えば、制御／判定部53は、スイッチング素子31A、31Bのペア、スイッチング素子32A、32Bのペア、或いはスイッチング素子33A、33Bのペアのいずれかのペアを開状態に制御するとともに、それに対応して、スイッチング素子41A、41Bのペア、スイッチング素子42A、42Bのペア、或いはスイッチング素子43A、43Bのペアのいずれかのペアを閉状態に制御する。

[0057] この状態で、制御／判定部53は、まず、スイッチ54を開いて電流源回路51を解列し知対象ストリング130を開放状態にしたうえで、電圧測定部52を制御して、検知対象ストリング130の負極と正極との間の電位差である開放電圧 V_{oc} を測定させる。次に、制御／判定部53は、スイッチ54を閉じて電流源回路51を検知対象ストリング130に接続した上で、電流源回路51を制御して、検知対象ストリング130の負極と正極との間に（例えば、負極から正極に向けて）、電流 I_1 の電流を発生させる。そして、制御／判定部53は、電圧測定部52を制御して、電流源回路51によって電流 I_1 に制御された時の検知対象ストリング130の負極と正極との間の電位差である定電流時電圧を測定させる。さらに、制御／判定部53は、電圧測定部52によって測定された検知対象ストリング130の開放電圧 V_{oc} と定電

流時電圧との差である電圧変化値 ΔV を算出し、電圧変化値 ΔV が規定の閾値 V_{TH2} よりも大きいかな否かを判定し、電圧変化値 ΔV が閾値 V_{TH2} よりも大きい場合に検知対象ストリング130の導通不良を検知する。このような制御／判定部53の機能により、検知対象ストリング130の $I-V$ 特性が図6に示す特性L3、L4のいずれの特性にあるかを判別することができ、 $I-V$ 特性が特性L4であると判別された場合に導通不良を検知することができる。なお、電流 I_1 は、検知対象ストリング130の日中（発電中）の短絡電流より大きいと、バイパスダイオード150により電圧降下してしまう。また、電流 I_1 が小さすぎると、 ΔV が小さく、検出が不確実になる。

[0058] 次に、上述した太陽光発電システム1を対象にした導通不良検査の手順を説明するとともに、本実施形態に係る導通不良検知方法について詳述する。

[0059] まず、故障検知装置5の制御／判定部53により、内蔵する計時機能を利用して所定時刻の到来が判定された場合、導通不良検知処理が開始される。制御／判定部53により、スイッチ群3、4が制御されて、いずれか1つの検知対象ストリング130とパワーコンディショナ110との間が解列状態に設定されると同時に、検知対象ストリング130と故障検知装置5とが接続される。ここで、解列状態に設定される際には、検知対象ストリング130の両極が切断されてもよいし、検知対象ストリング130の一方極側のみが切断されてもよい。この状態において、故障検知装置5の制御／判定部53は、検知対象ストリング130が発電中か非発電中かを判定し、発電中であるときに以下の処理を開始する。他方、発電量が所与の値以下のときは、導通不良検知処理を中止して、当該検知対象ストリング130を故障検知装置5と切り離し、パワーコンディショナ110に接続する。

[0060] 次に、電圧測定部52により、検知対象ストリング130の開放電圧 V_{oc} が測定される。その後、故障検知装置5の電流源回路51から検知対象ストリング130に対して、負極と正極との間に（例えば、負極から正極に向けて）電流 I_1 が供給される。このタイミングで、電圧測定部52により、検知対象ストリング130の定電流時電圧が測定され、その測定値が制御／判定部

53に渡される。これに対して、制御／判定部53により、測定された開放電圧 V_{oc} と測定された定電流時電圧との差である電圧変化値 ΔV が算出され、電圧変化値 ΔV が規定の閾値 V_{TH2} よりも大きいかなんかが判定され、その判定結果を基に検知対象ストリング130の導通不良が検知される。そして、制御／判定部53により、検知結果がディスプレイやLED等の出力装置に出力される。最後に、導通不良が検知されなかった場合には、制御／判定部53によりスイッチ群3, 4が制御されて、検知対象ストリング130と故障検知装置5との間の接続が解除されると同時に、検知対象ストリング130とパワーコンディショナ110との間が接続状態に設定される。

[0061] 以上説明した故障検知システム2及びそれを利用した導通不良検知方法によれば、太陽電池ストリング130に対して、太陽電池ストリング130の負極及び正極を開放状態にした時の太陽電池ストリング130の負極と正極との間の電位差である開放電圧 V_{oc} が測定される。さらに、負極と正極との間に（例えば、負極から正極に向けて）規定の電流値の電流が供給された時の太陽電池ストリング130の負極と正極との間の電位差である定電流時電圧が測定される。そして、測定された開放電圧と定電流時電圧との差 ΔV に基づいて太陽電池ストリング130の導通不良が判定される。ここで、一般的に、太陽電池ストリング130内部に導通不良箇所が存在する場合、太陽電池ストリング130が発電したとき、導通不良箇所が抵抗となって、導通不良がない場合と比較して著しく電圧が降下する。従って、上述した故障検知システム2、或いは導通不良検知方法によれば、開放電圧と定電流時電圧との差を検出することにより、太陽電池ストリング130の導通不良を正確に判定することができる。また、定電流状態における電位差を測定することで、太陽電池ストリング130に大電流を流すおそれも少なく、コンデンサを利用した従来の診断方法のようにI-V特性のスキンの必要もない。これにより、検査時の安全性を確保しつつ簡易かつ正確に太陽電池ストリング130の導通不良を検知することができる。

[0062] 上述した故障検知システム2においては、制御／判定部53は、開放電圧

V_{oc} と太陽電池ストリング130に対して規定の電流 I_1 を供給した時に測定された定電流時電圧との差 ΔV が、閾値 V_{TH2} よりも大きい場合に太陽電池ストリング130の導通不良を判定してもよい。こうすれば、測定した差 ΔV と閾値 V_{TH2} とを比較するという二値的な判定を行うことで、簡易な処理や回路構成で太陽電池ストリング130の導通不良を検知することができる。

[0063] [太陽電池検査用電流制御装置の構成]

続いて電流源回路51（太陽電池検査用電流制御装置）について詳述する。図7は、電流源回路51の構成図である。図7に示す通り、電流源回路51は、定電流装置511と電圧源装置512とを具備しており、定電流装置511と電圧源装置512は直列に接続されている。電流源回路51は、前述の通り、検知対象となる太陽電池ストリング130を流れる電流を、その発電状態に関わらず、規定の値の定電流に制御する回路であり、非発電時には定電流装置511と電圧源装置512とにより生成する電流値を制御することで、太陽電池（太陽電池ストリング130）におけるバイパスダイオードの故障の検査に適した電流値の定電流を生成する。さらに、電流源回路51は、発電時には、定電流装置511により電流値を制御することで、太陽電池（太陽電池ストリング130）における導通不良の検査に適した電流値の定電流を生成する。つまり、本実施形態に係る太陽電池検査用電流制御装置は、一つの装置で太陽電池におけるバイパスダイオードの故障の検査及び太陽電池における導通不良の検査の2つの検査を行うことができる。

[0064] 定電流装置511は、検査用に接続された太陽電池ストリング130の発電状況に関わらず、抵抗（または内部抵抗）を変化させ太陽電池ストリング130に流れる電流を規定の定電流値（例えば、上述の I_1 ）になるように制御する装置である。定電流装置511としては、電流を定電流に制御するものであれば如何なる構成のものも用いることができ、例えば、オペアンプや、トランジスタ、定電流ダイオード等を用いた電気回路により構成することができる。

[0065] 電圧源装置512は、検査用に接続された太陽電池ストリング130に直

流電力を供給する装置であり、太陽電池ストリング130の発電中であるとか否とに関わらず、電力を供給する。電圧源装置512から供給される電力は、非発電時（夜間）においては太陽電池ストリング130内に供給されて、バイパスダイオードの故障検知に使用され、発電時（日中）においては定電流装置511の抵抗により消費される。電圧源装置512は、直流電力を発生させるものであれば如何なる構成のものも用いることができ、例えば、直流電源回路や乾電池などの電圧源を有する構成することができる。なお、本実施の形態においては、電圧源装置512が供給しうる電圧値の上限を V_3 。（図8（a）参照）とし、それ以上の電圧を発生しないように構成するが、電圧源を V_3 の定電圧源として構成しても良い。

[0066] なお、以下では、電圧源装置512は、太陽電池ストリング130に接続されれば常時電力を供給するものとして説明するが、制御／判定部53の指示信号に応じて、太陽電池ストリング130の非発電時には電力を供給し、発電時には電力の供給を停止し、電圧源をバイパスさせる回路を設けて、太陽電池ストリング130の発電する電流を流す（即ち、電圧源を迂回させる回路に流す）構成としても良い。

[0067] ここで、電流及び電圧の符号を、上述のバイパスダイオードの故障検査や導通不良の故障検査の説明と同様に、以下の通り定める。すなわち、太陽電池ストリング130（太陽電池）の内部において負極から正極に向けて電位が上がる場合（太陽電池の外部で、正極から負極に向けた電位が上がる場合）が正電圧（ $V > 0$ ）を示し、太陽電池ストリング130の内部において負極から正極に向かう電流（太陽電池の外部で、正極から負極に向かう電流）を正電流（ $I > 0$ ）で示している。従って、太陽電池ストリング130と電流源回路51とを含む閉回路の合計電圧は0になる。太陽電池ストリング130と電流源回路51とを接続した時には、電流値は同じ、電圧は絶対値が同じで符号が逆になる。すなわち、太陽電池ストリング130で発生した電圧ゲイン（またはバイパスダイオード150による電圧損失）は、電流源回路51による電圧降下（または電圧ゲイン）と釣り合う。

- [0068] 図8(a)は、電流源回路51が生成する電流のI-V特性である特性L5を示すグラフである。図8(a)のグラフにおいて、電圧が正の領域(第1象限及び第4象限)は、電流源回路51が電源として電力を測定対象の太陽電池ストリング130に送り込む動作を表している領域を示している。夜間にバイパスダイオード150の開放故障検出を行うときの動作モードはこの電圧が正の領域である。一方、電圧が負の領域(第2象限及び第3象限)は、電流源回路51が負荷として動作する領域を示している。昼間に発電している太陽電池ストリング130に対し、電流源回路51が少しだけ電流を通過させて太陽電池ストリング130の導通不良を診断するときの動作モードがこの電圧が負の領域である。
- [0069] 図8(a)に示す通り、電流源回路51は、電圧0Vから電圧 V_3 ($V_3 > 0$)の間では電流値 I_1 の定電流を流し、電圧 V_3 以上は電力を供給しない。なお、電流源回路51には逆電流を防止するためのブロッキングダイオードを設けることが望ましい。ブロッキングダイオードの耐電圧 $|V_5|$ ($V_5 > V_3$)を太陽電池ストリング130の開放電圧値の絶対値 $|V_{oc}|$ より大きな値に設定することで、太陽電池ストリング130の電極を逆に接続した場合に、逆電流が電流源回路51内に流れることを防止することが可能になる。また、定電流装置511の耐電圧 $|V_4|$ ($V_4 < 0$)は後述の通り、太陽電池ストリング130の開放電圧値の絶対値 $|V_{oc}|$ より大きい必要がある。
- [0070] 図8(b)は、太陽電池ストリング130の夜間及び日中の正常時のI-V特性を示すグラフである。図8(b)の特性L1は、太陽電池ストリング130の夜間の正常時のI-V特性を示しており、図4における特性L1に対応するものである。一方、図8(b)の特性L3は、太陽電池ストリング130の日中の正常時のI-V特性を示しており、図6における特性L3に対応するものである。図8(b)における点A及びBは、それぞれ特性L1及びL3の電流値 I_1 に対応する点である。上述のバイパスダイオードの故障検査及び導通不良の故障検査の説明の通り、故障検知システム2は、点Aにおける電位差に基づいてバイパスダイオードの故障を検知し、点Bにおける

電位差に基づいて導通不良の故障を検知する。なお、図8（a）と図8（b）との間の2つの点線矢印が示す通り、図8（b）における点A及びBの電流／電圧は、図8（a）に示す点A及びBの電流／電圧に対応する。すなわち、図8（a）において、電流源回路51は、点Aにおいてバイパスダイオードの故障を検知し、点Bにおいて導通不良の故障を検知する。

[0071] 続いて、電流源回路51が生成する電流のI-V特性について、上述のバイパスダイオードの故障検査や導通不良の故障検査を実行する上での要件1～5について説明する。

[0072] <要件1>

まず、図8（a）の V_3 の値に関する要件1について説明する。以降では、 V_3 を発生可能電圧と呼ぶ。図9は、図4（a）と同様に、太陽電池ストリング130の夜間のI-V特性を示すグラフである。特性L1、L2及び電流 I_1 については図4と同様のため、説明を省略する。 ΔV_B は、太陽電池ストリング130内のバイパスダイオード150の電圧降下値の総和を示している。特性L5は、電流源回路51が生成する電流のI-V特性であり、図9は太陽電池ストリング130におけるI-V特性を示すグラフであるため、図8（a）に示す電流源回路51が生成する電流のI-V特性について、電圧が反転表示されたものとなっている。

[0073] 図8（a）のグラフの正電圧側の電力を受け取る太陽電池ストリング130は、図9の負電圧側で動作する。太陽電池ストリング130（またはバイパスダイオード150）の動作点は、上述の通り閉回路の合計電圧は0であるから、

電流源回路51の電圧+太陽電池ストリング130（またはバイパスダイオード150）の電圧=0

となることから、図9におけるL1とL5の交点である点A（バイパスダイオード150の正常時）またはL2とL5の交点である点A'（バイパスダイオード150の開放故障時）となる。以上より、発生可能電圧 V_3 は、図9に示す ΔV_B よりも大きな値である必要がある（要件1）。

[0074] 例えば、具体的には図2に示す太陽電池ストリング130が90枚の太陽電池モジュール120（1クラスタにより構成された太陽電池モジュール）を直列接続して構成されている場合を想定すると、90クラスタとなる。ここにクラスタとは、直列接続された複数の太陽電池セル140（図2では6枚）と、これに並列接続されたバイパスダイオード150とから構成される単位である。1クラスタでのバイパスダイオードの電圧降下を0.4Vとすれば、発生可能電圧 V_3 は、36V（=90クラスタ×0.4V）よりも大きな値である必要がある。

[0075] <要件2>

続いて、図8（a）の V_4 の値に関する要件2について説明する。以降では、 V_4 を吸収可能電圧と呼ぶ。図10は、図6（a）と同様に、太陽電池ストリング130の日中のI-V特性を示すグラフである。特性L3、L4、電流 I_1 、電圧 V_{oc} については図6と同様のため、説明を省略する。また、特性L5は、図9と同様のため、説明を省略する。

[0076] 図8（a）のグラフの負電圧側の電力を受け取る太陽電池ストリング130は、図10の正電圧側で動作する。太陽電池ストリング130の動作点は、図9と同様に、

電流源回路51の電圧+太陽電池ストリング130の電圧=0

となることから、図10におけるL3とL5の交点である点B（太陽電池ストリング130の正常時）またはL4とL5の交点である点B'（太陽電池ストリング130の導通不良時）となる。なお、上述の導通不良の故障検査の説明で挙げた通り、導通不良の故障検査では、 V_{oc} と、電流を流したときの点Bの電位差及び点B'の電位差の差とから、導通状態を反映する。以上より、吸収可能電圧 V_4 は、図10に示す V_{oc} よりも大きな値である必要がある（要件2）。

[0077] <要件3>

続いて、図8（a）の特性L5のうち、電圧が V_3 から V_5 までの間の電流である過電圧時動作電流に関する要件3について説明する。故障検知システ

ム 2 において、誤配線などによって太陽電池ストリング 130 の正負が逆に接続され、電流源回路 51 が発生可能な電圧よりも大きな電圧を外部から印加されても、逆電流による事故を起こさないことが必要である。このためには、図 8 (a) に示した過電圧時動作電流は 0 A であることが好ましい（要件 3）。

[0078] <要件 4>

続いて、図 8 (a) の電圧 V_5 である耐電圧に関する要件 4 について説明する。故障検知システム 2 において、誤配線などによって太陽電池ストリング 130 の正負が逆に接続された場合の電圧は、太陽電池ストリング 130 の開放電圧に達する。よって、図 8 (a) に示した耐電圧は、太陽電池ストリング 130 の開放電圧以上であることが必要である（要件 4）。

[0079] <要件 5>

続いて、電流源回路 51 が生成する電流値の要件 5 について説明する。電流源回路 51 が生成する定電流値 I_1 は、バイパスダイオード故障診断の観点からは、夜間の光強度による電流に比べて十分に大きな値であることが必要である（要件 5 その 1）。さもないと、判定が困難となる。例えば、夜間に街灯などの影響で少量の発電をしている（短絡電流 1 mA 程度で発電している）太陽電池ストリング 130 に対し、定電流値 I_1 を 1 mA に設定された電流源回路 51 を接続した場合、当該太陽電池ストリング 130 の動作電圧は 0 V 付近になるため、バイパスダイオード 150 がオープン故障していても、電圧降下を測定できず、故障を検知できない。他方、電流源回路 51 が生成する定電流値 I_1 は、導通不良の診断の観点からは、日中の電流に比べて十分に小さな値であることが必要である（要件 5 その 2）。例えば、日中に十分な日射を受けて短絡電流 5 A で発電している太陽電池に対し、定電流値 I_1 を 4 A に設定された電流源回路 51 を接続した場合、導通不良が無くても開放電圧と比較して著しく電圧が低下するため、導通不良の検知が困難となる。したがって、定電流源回路 51 により生成させる定電流値 I_1 は、太陽電池ストリング 130 の夜間における平均的な短絡電流値よりも大きく、且つ、

日中における平均的な最大動作点電流 I_{pm} よりも小さいことが望ましい。

[0080] 以上が、電流源回路 51 が生成する電流の $I-V$ 特性について、上述のバイパスダイオードの故障検査や導通不良の故障検査を実行する上での要件 1～5 である。電流源回路 51 は、少なくとも要件 1 及び 2 を満たす。

[0081] [太陽電池検査用電流制御装置の回路構成例]

図 11 は、電流源回路 51 の回路構成図の例を示す図である。図 11 において、電圧源装置 512 は定電圧源 513 及びバイパスダイオード 516 を並列接続してなる素子により構成され、定電流装置 511 は定電流ダイオード (CRD (Current Regulative Diode)) 514 及びツェナーダイオード 515 を並列接続してなる素子 3 つを直列接続されて構成される。ここで、CRD とは、加える電圧や負荷抵抗が変わっても通過する電流が一定に保たれるパッシブデバイスであり、定電圧源 513 と直列接続することにより、定電流源を安価、簡単に製造することができる。また、図 11 に示すとおり、定電流装置 511 及び電圧源装置 512 には、ブロッキングダイオード (逆流防止ダイオード) 517 が直接接続されている。

[0082] 続いて、図 11 に示す電流源回路 51 の回路構成図が上述の要件 1～5 を満たす上で必要な条件を示す。

[0083] <要件 1>

まず、要件 1 を満たすため、すなわち、発生可能電圧 V_3 を太陽電池ストリング 130 内のバイパスダイオード 150 による電圧降下値の総和 ΔV_B よりも大きな値とするためには、定電圧源 513 が発生する電圧を、電圧降下値の総和 ΔV_B よりも大きな値とすればよい。

[0084] <要件 2>

続いて、要件 2 を満たす条件、すなわち、吸収可能電圧 V_4 を開放電圧 V_{oc} よりも大きな値とするための条件について説明する。まず、電流源回路 51 を太陽電池発電中に使用する場合を考えると、定電流ダイオード 514 は定電圧源 513 と太陽電池の合計電圧に耐えてそれを降圧し、電流を制御することが必要である。定電流ダイオード 514 の耐圧は 100 V 以下であるた

め、複数の定電流ダイオード514を直列に接続して、耐圧を確保する必要がある。しかし、実際には、複数の定電流ダイオード514を直列に接続しただけでは、耐圧は確保されない。これは、定電流ダイオード514個体間の僅かな電流の差によって、電流の小さな定電流ダイオード514に電圧が集中して破壊が起こる虞があるためである。図12は、電流値がずれたCRDを直列接続した際のI-V特性を示す図である。図12において、領域R1が、電圧集中による破損の虞がある領域である。

[0085] この対策として、電流源回路51では、図11に示す通り、個々の定電流ダイオード514に、その耐圧以下で動作するツェナーダイオード515を並列接続し、それを直列接続している。図13は、CRDとツェナーダイオードとの並列接続による効果を示した図である。図13において、特性L10は図12と同様にCRDのI-V特性を示し、特性L11はツェナーダイオードのI-V特性を示し、特性L12はCRDとツェナーダイオードとの並列接続によるI-V特性を示し、領域R2が安定動作領域を示している。このように電流源回路51では、全定電流ダイオード514にその耐圧以下で動作するツェナーダイオード515を並列接続することで、電圧集中による破損の虞がある領域R1をなくすることができる。

[0086] ここで、太陽電池の電圧と定電圧源513とは加極的にはたらく。よって、電流源回路51は、要件2を満たすために、その合計電圧に耐える段数だけ、定電流ダイオード514とツェナーダイオード515とからなる定電流素子を直列に接続すればよい。図14(a)は、3つの定電流素子のそれぞれのI-V特性L20~L22の例を示し、図14(b)は、それら3つの定電流素子を直列接続した時のI-V特性の例を示している図である。

[0087] さらに、事故等によりそれを超える異常な電圧が印加されて全ツェナーダイオード515が動作した場合や、定電流ダイオード514が短絡モード故障した場合は、定電圧源513を大電流が通過する可能性がある。この場合に備えて、ツェナーダイオード515は太陽電池の短絡電流を通過させることができるものを使用し、定電圧源513には太陽電池の短絡電流を通過さ

せることができるバイパスダイオード 516 を並列接続しておくことが好ましい。

[0088] <要件 3 及び 4>

続いて、要件 3 及び 4 を満たすため、すなわち、図 8 (a) において電圧が V_3 から V_5 までの間の電流である過電圧時動作電流は 0 A であり、及び耐電圧 V_5 は太陽電池ストリング 130 の開放電圧以上であるためには、定電圧源 513 と定電流素子とから構成される定電流源に、十分な耐電圧を有するブロッキングダイオード 517 を直列に接続すればよい。このブロッキングダイオード 517 は、施工の誤り等により太陽電池が逆極性に接続されても事故を起こさないために必要である。

[0089] <要件 5>

続いて、要件 5 を満たすため、すなわち、電流源回路 51 が生成する電流値は、夜間の光強度における短絡電流値に比べて十分に大きな値であり、日中の短絡電流値に比べて十分に小さな値であるためには、使用する定電流ダイオード 514 を選定することで所望の電流値を設定することができる。

[0090] 以上の通り、図 11 に示す電流源回路 51 の回路構成図では、上記各要件 1～5 を満たすと共に、安価な汎用部品だけで実現でき、スイッチング素子の制御も不要である等、FET 等を利用した電流源に比較して、構成が単純である。それゆえに、動作が簡単であり、ゲートドライブの問題等による不安定性の虞がなく、安定した電流を確実に得ることができ、太陽電池の故障検査を確実に行うことができる。

[0091] 上述した太陽電池検査用電流制御装置においては、定電流装置は、定電流ダイオード及びツェナーダイオードを並列接続してなる複数の素子により構成される、ことが好適である。これにより、太陽電池検査用電流制御装置は、安価な汎用部品だけで実現でき、スイッチング素子の制御も不要である等、FET 等を利用した電流源に比較して、構成が単純である。それゆえに、動作が簡単であり、ゲートドライブの問題等による不安定性の虞がなく、安定した電流を確実に得ることができ、太陽電池の故障検査を確実に行うこと

ができる。また、大掛かりな装置や高精度な測定機器を要さず、スイッチング制御等をする必要もなく、発電時と非発電時における太陽電池の正極負極間の電位差を測定するだけで、簡単に導通不良とバイパスダイオードのオープンモード故障を検知することができ、誤作動等による誤検出の危険もなく、安全かつ容易に故障検知を実現することができる。

[0092] また、電圧源装置は、定電圧源である、ことが好適である。一般的に、バイパスダイオードがオープンモード故障をしている場合、所与の値の電流を流すと、高い逆電圧が発生し、太陽電池素子そのものを破損する虞がある。そこで、上述したとおり、電圧源を定電圧源とし、定電流装置と共に使用することで、非発電時における太陽電池に一定値の電流を流すことを実現しつつ、高い逆電圧が発生することを未然に防止し、太陽電池の破損から保護することが可能になる。

[0093] さらに、電圧源装置は、太陽電池の正極負極間に印加する電圧の絶対値として、当該太陽電池内のバイパスダイオードの正常時における電圧降下値の合計の絶対値よりも大きい電圧を印加する、ことも好適である。このように、非発電時におけるバイパスダイオードの故障判定において、バイパスダイオードの電圧降下値以上の電圧を印加することで、確実に太陽電池内に電流を流すことが可能となり、上述したバイパスダイオードの故障診断を確実に行うことができる。

[0094] また、当該太陽電池検査用電流制御装置の正及び負の耐電圧は、太陽電池の開放電圧値よりも大きい、ことも好適である。例えば、太陽電池の極性を逆に接続した場合、太陽電池検査用電流制御装置が発生可能な電圧は太陽電池の開放電圧値に達するため、正の耐電圧が、太陽電池の開放電圧値よりも大きいことで、太陽電池検査用電流制御装置の安全性を維持することができる。また、導通不良の故障の故障診断を行う際に必要な太陽電池モジュールの負極と正極との間に生じる電位差は開放電圧値未満の値である。よって、負の耐電圧が、太陽電池の開放電圧値よりも大きいことで、確実に導通不良の故障の故障診断を行うことができる。

産業上の利用可能性

[0095] 本発明は、太陽電池の検査用の電流を制御する太陽電池検査用電流制御装置を使用用途とし、太陽光発電システムにおける複数種類の故障を安全、容易、且つ、正確に検知することができるものである。

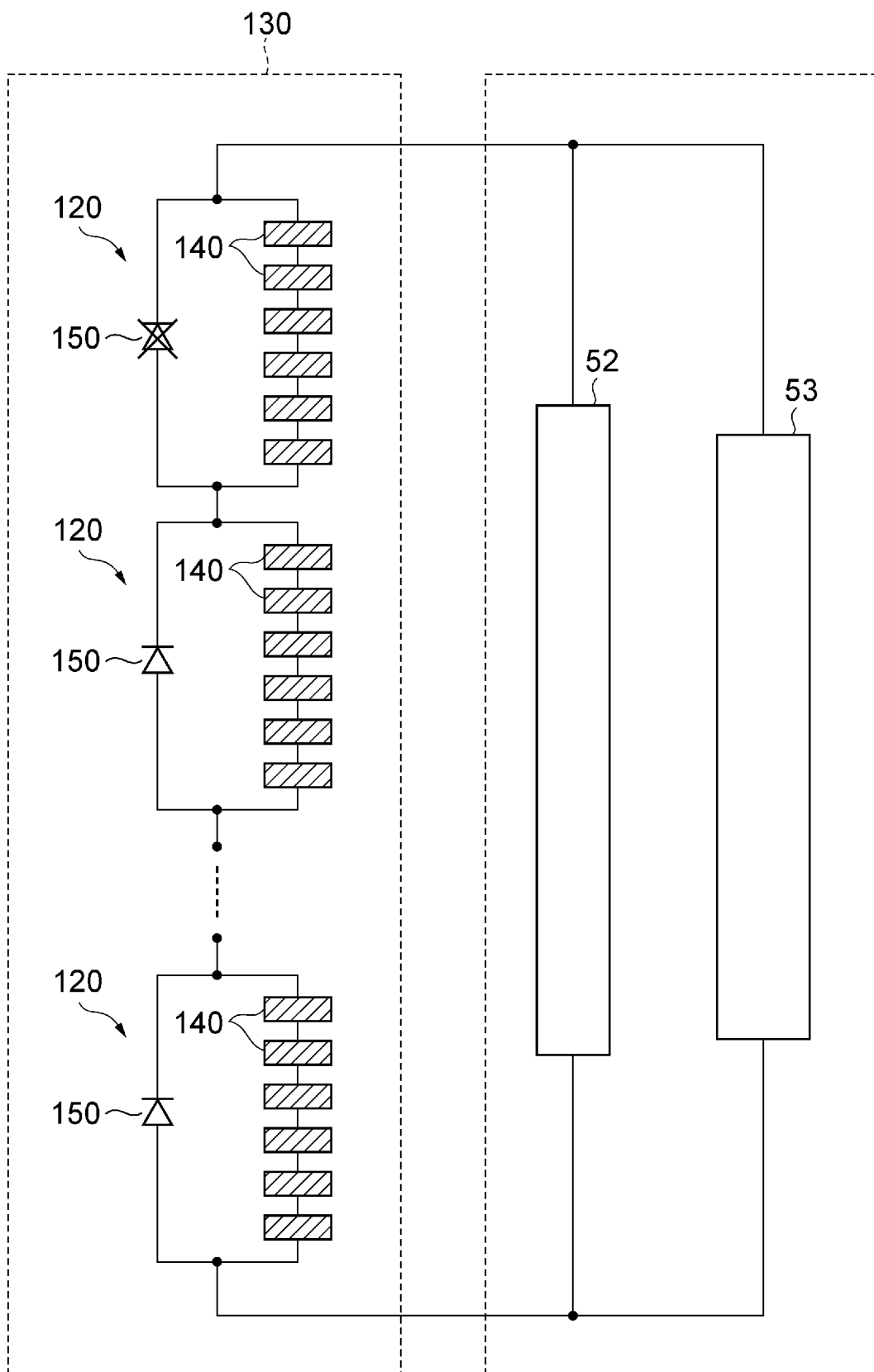
符号の説明

[0096] 1…太陽光発電システム（太陽電池システム）、2…故障検知システム、3…スイッチ群（スイッチング部）、5…故障検知装置、51…電流源回路、52…電圧測定部、53…制御／判定部、54…スイッチ、551…電流計、61～66…接続点、100…太陽電池アレイ、110…パワーコンディショナ（負荷装置）、120…太陽電池モジュール、130…太陽電池ストリング（検知対象ストリング）、140…太陽電池セル、150…バイパスダイオード、511…定電流装置、512…電圧源装置、513…定電圧源、514…定電流ダイオード、515…ツェナーダイオード、516…バイパスダイオード、517…ブロッキングダイオード。

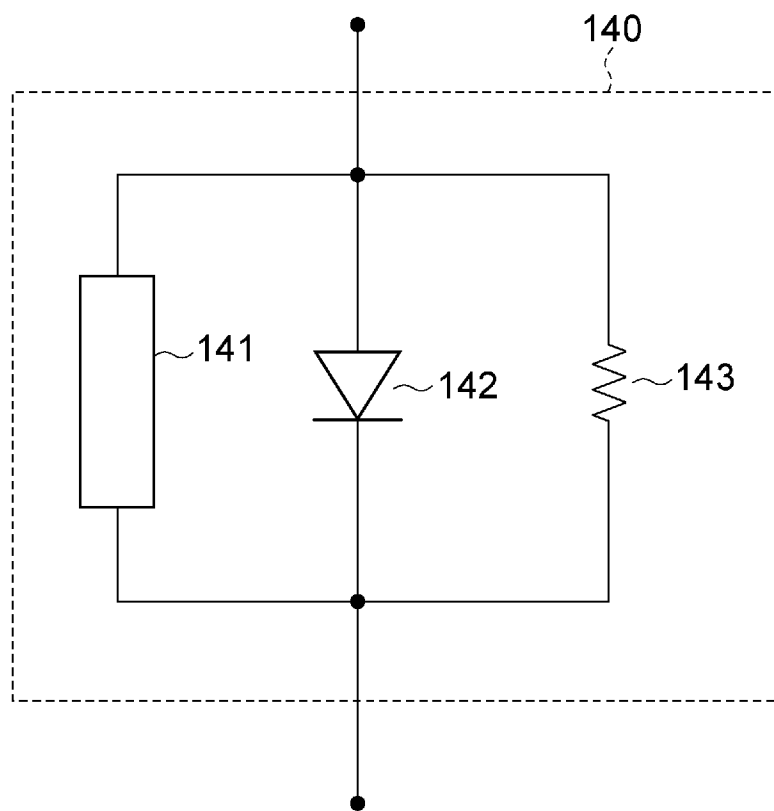
請求の範囲

- [請求項1] 可変抵抗により電流値を一定に保つ定電流装置と、前記定電流装置に直列に接続される電圧源装置とを備え、発電中の太陽電池の電流方向と同一方向への電流を、当該太陽電池が発電中であるか否かに関わらず一定に制御する太陽電池検査用電流制御装置。
- [請求項2] 前記定電流装置は、定電流ダイオード及びツェナーダイオードを並列接続してなる複数の素子により構成される、
ことを特徴とする請求項1に記載の太陽電池検査用電流制御装置。
- [請求項3] 前記電圧源装置は、定電圧源である、
ことを特徴とする請求項1又は2に記載の太陽電池検査用電流制御装置。
- [請求項4] 前記電圧源装置は、前記太陽電池の正極負極間に印加する電圧の絶対値として、当該太陽電池内のバイパスダイオードの正常時における電圧降下値の合計の絶対値よりも大きい電圧を印加する、
ことを特徴とする請求項1～3の何れか一項に記載の太陽電池検査用電流制御装置。
- [請求項5] 当該太陽電池検査用電流制御装置の正及び負の耐電圧は、前記太陽電池の開放電圧値よりも大きい、
ことを特徴とする請求項1～4の何れか一項に記載の太陽電池検査用電流制御装置。

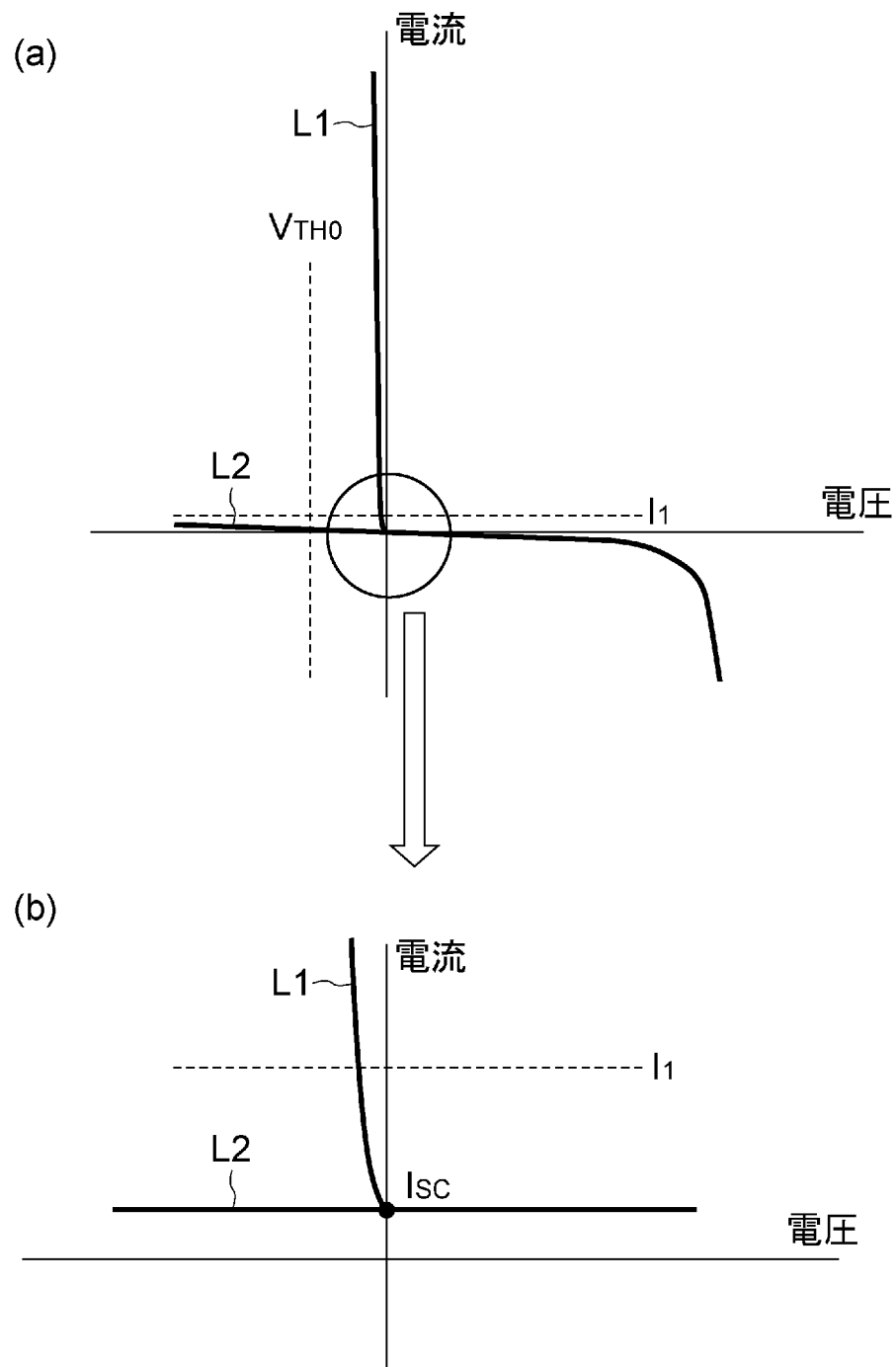
[図2]



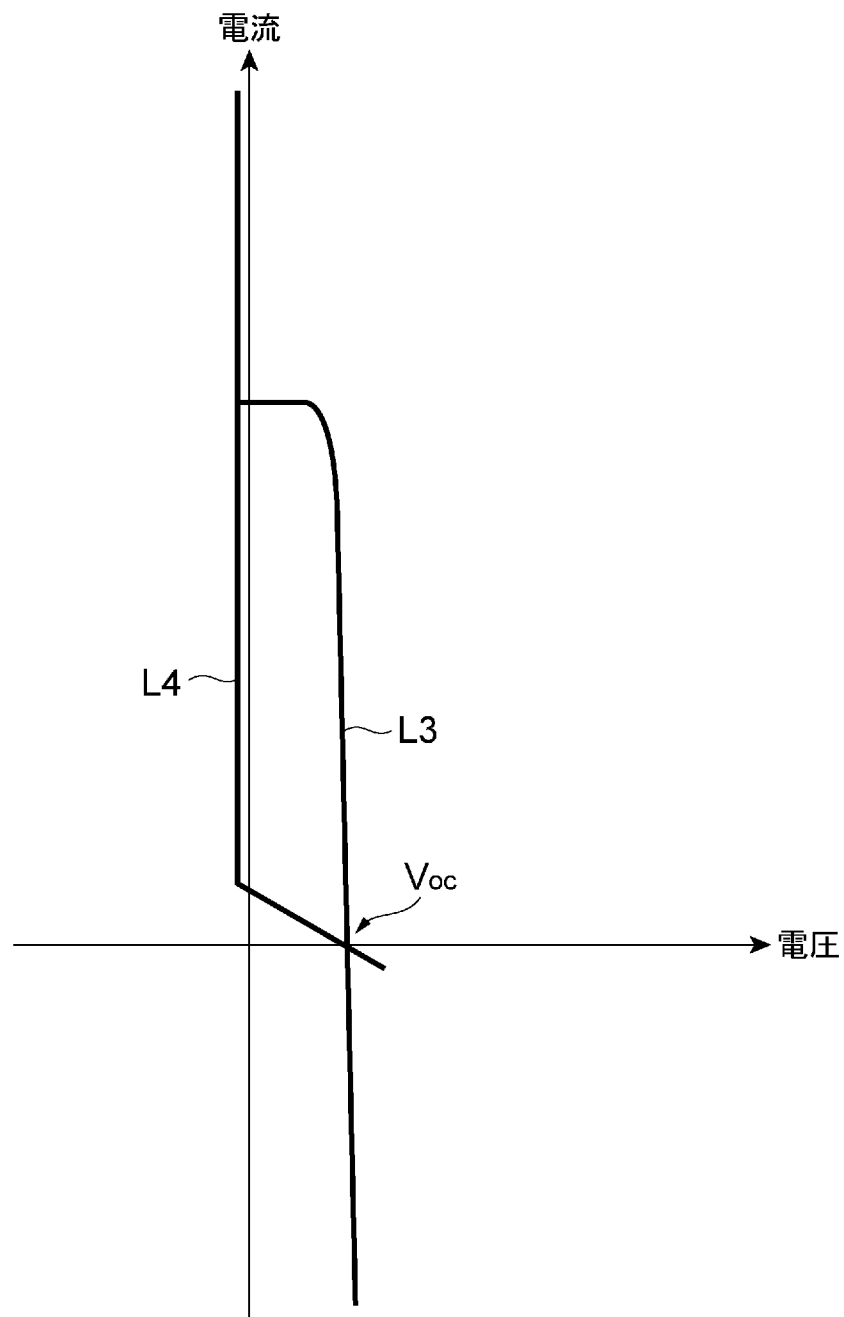
[図3]



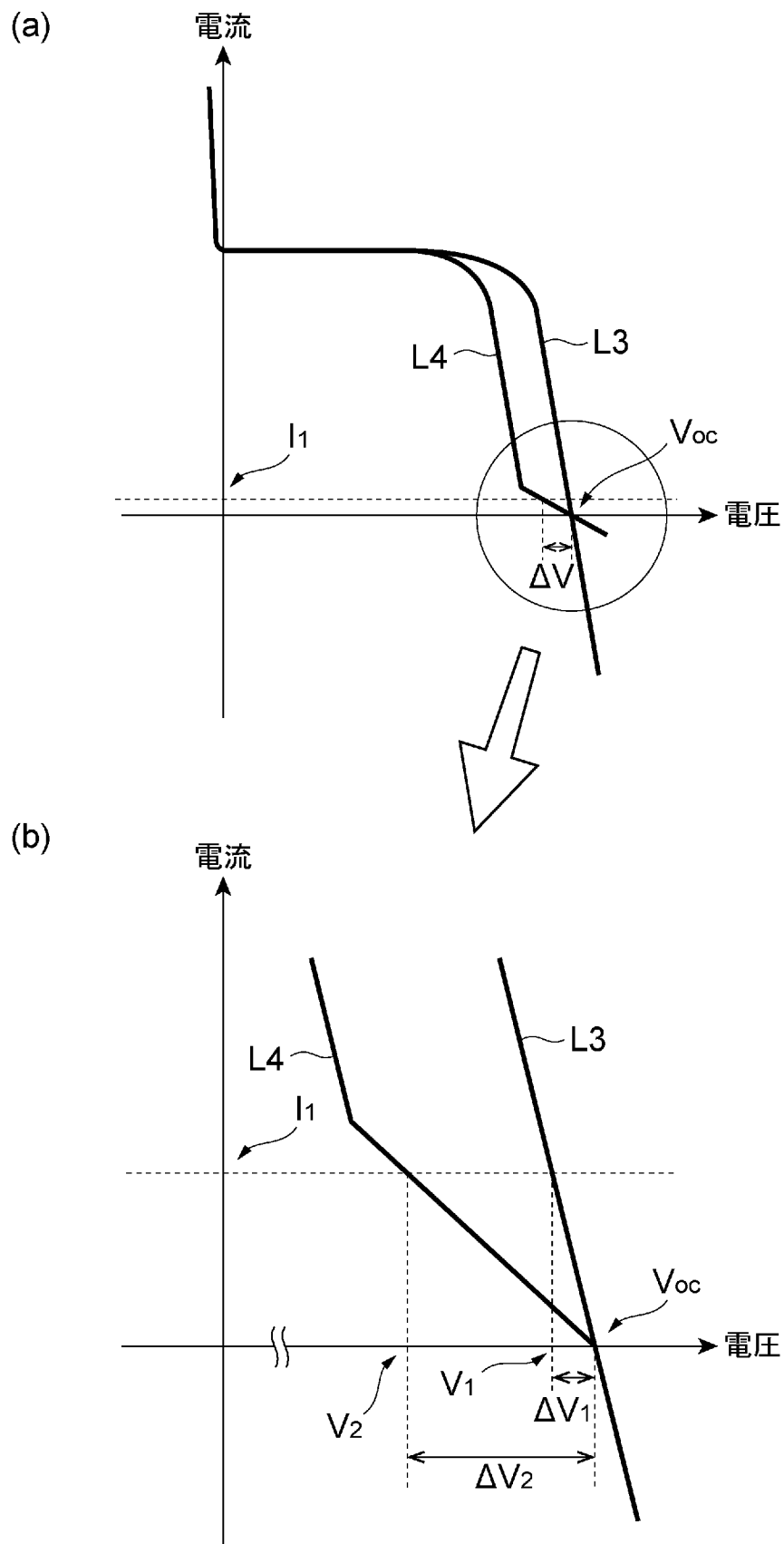
[図4]



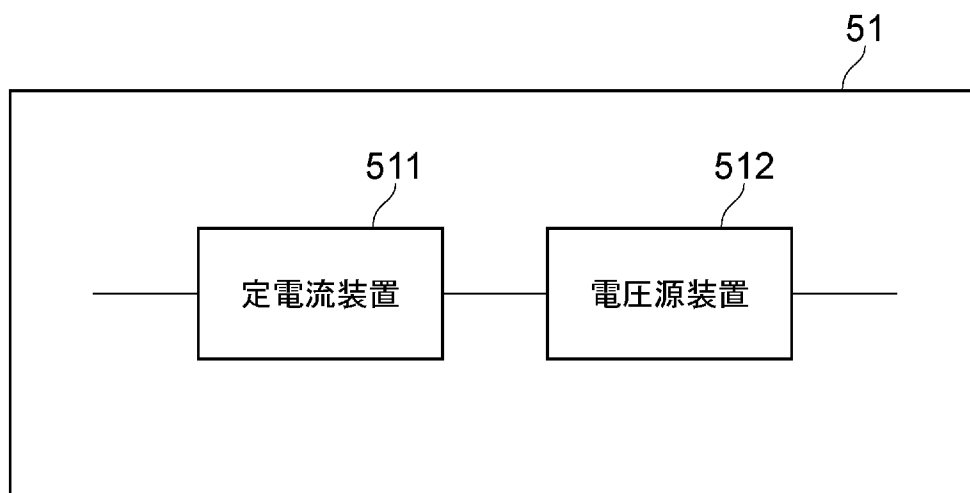
[図5]



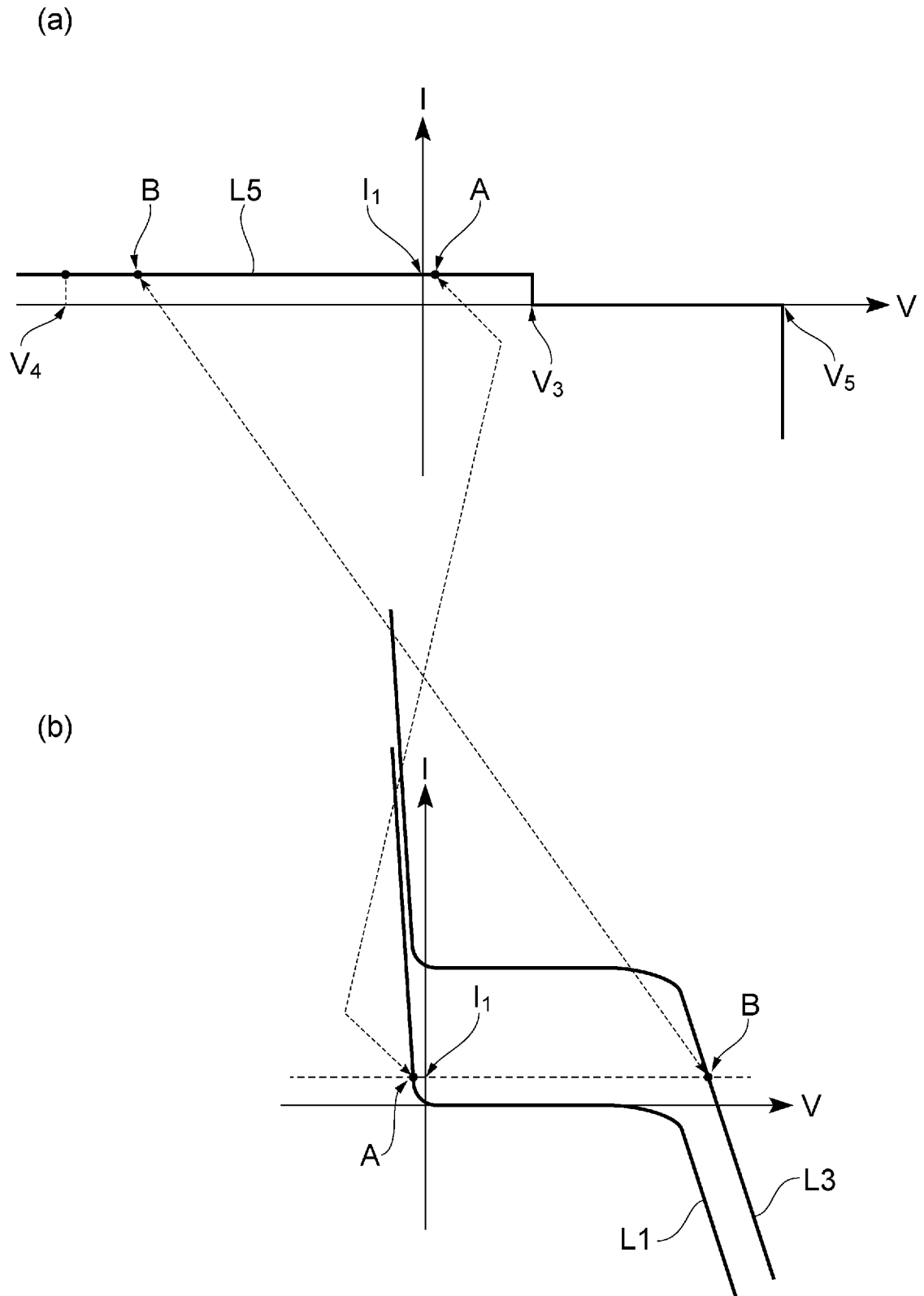
[図6]



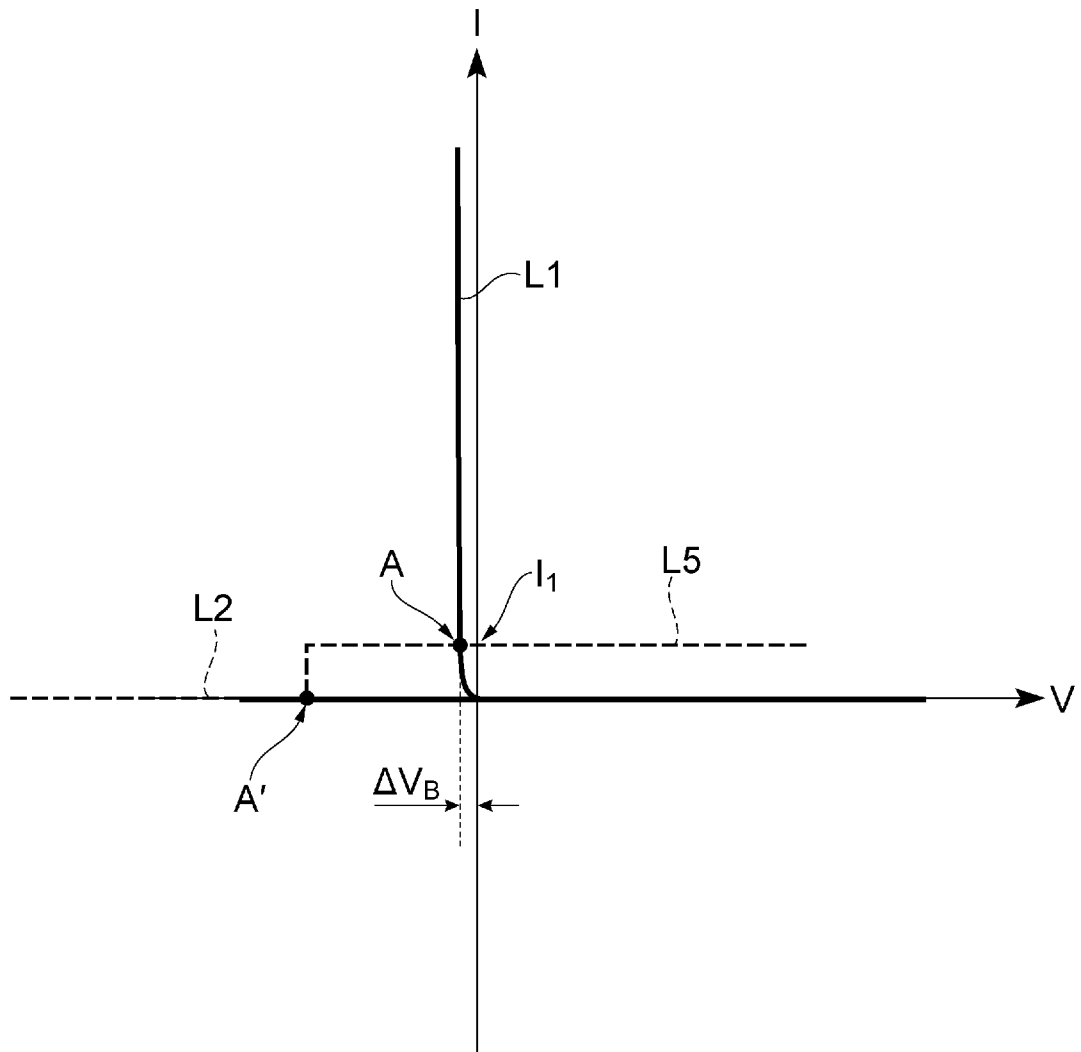
[図7]



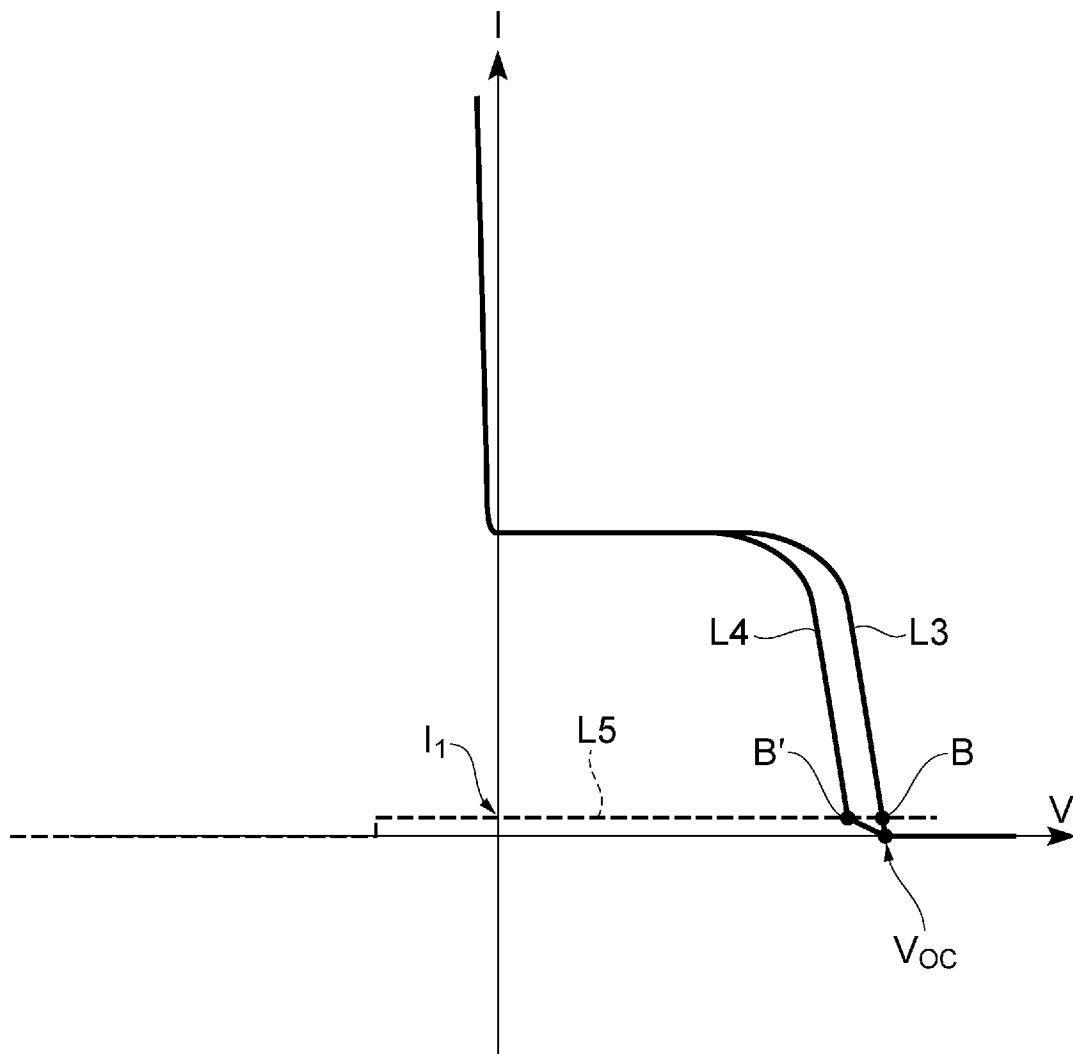
[図8]



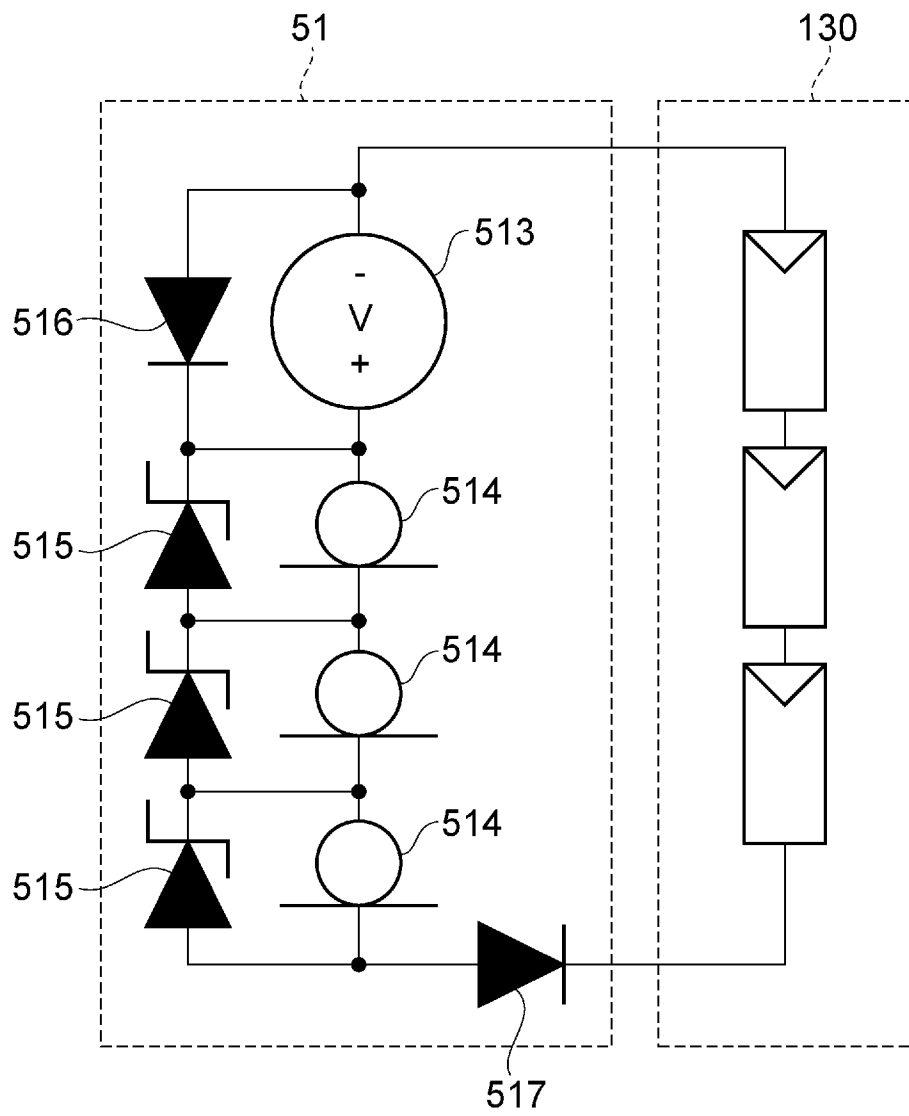
[図9]



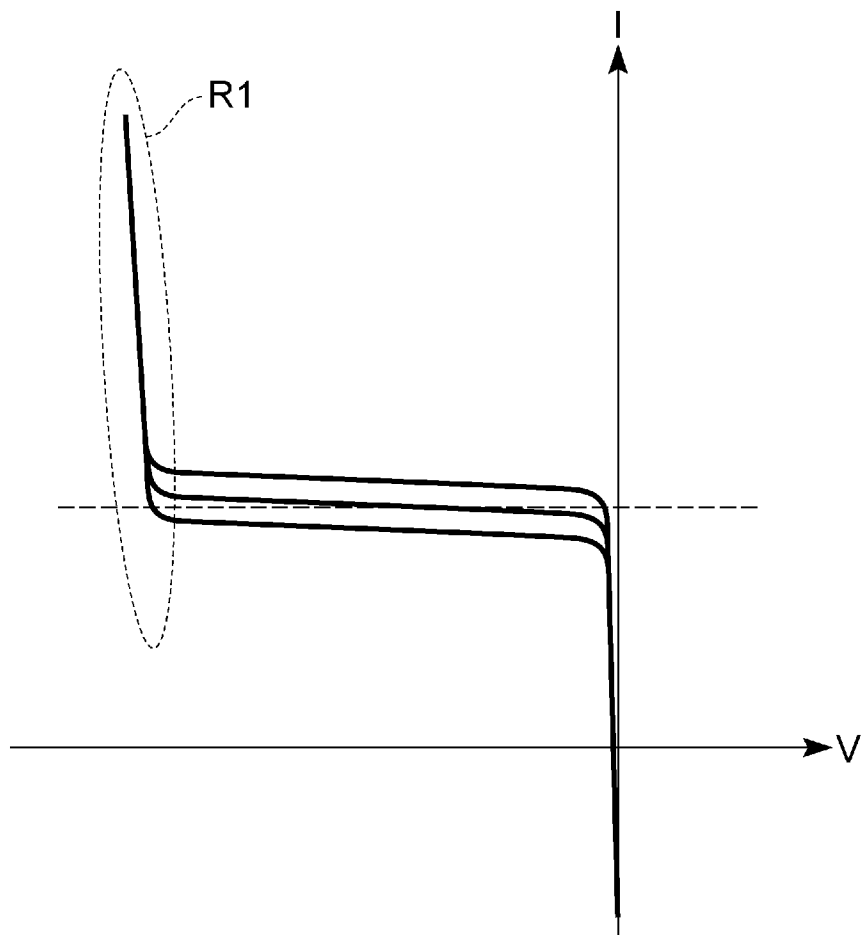
[図10]



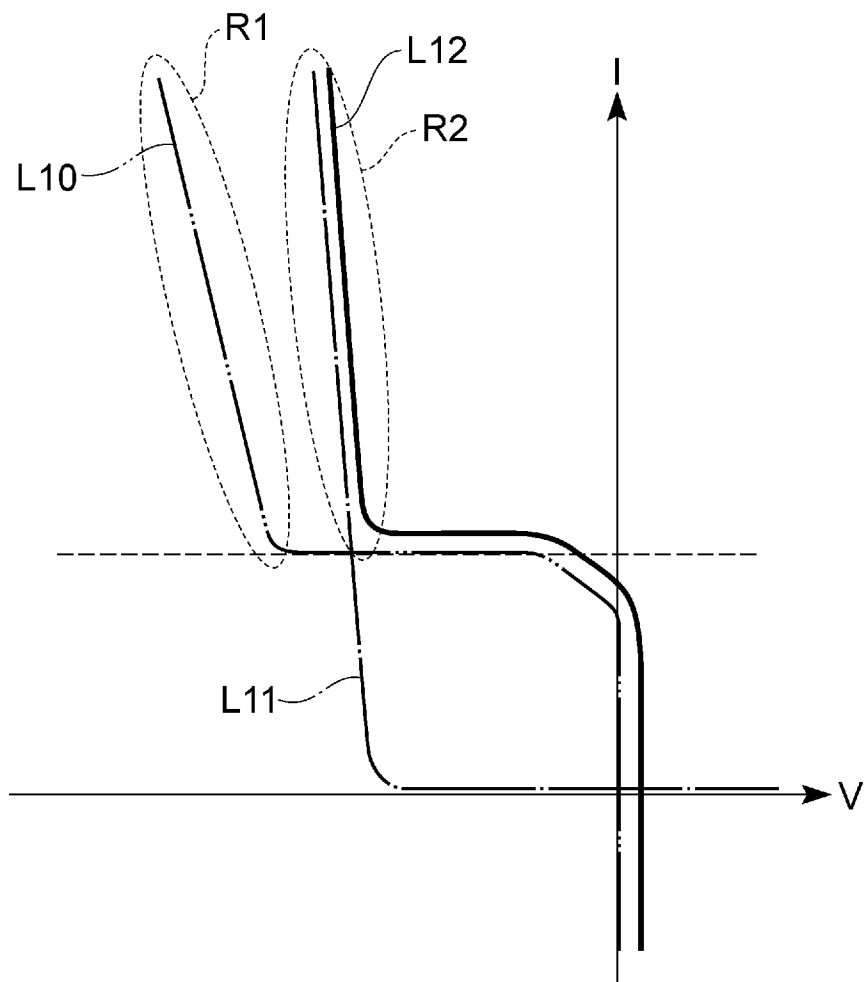
[図11]



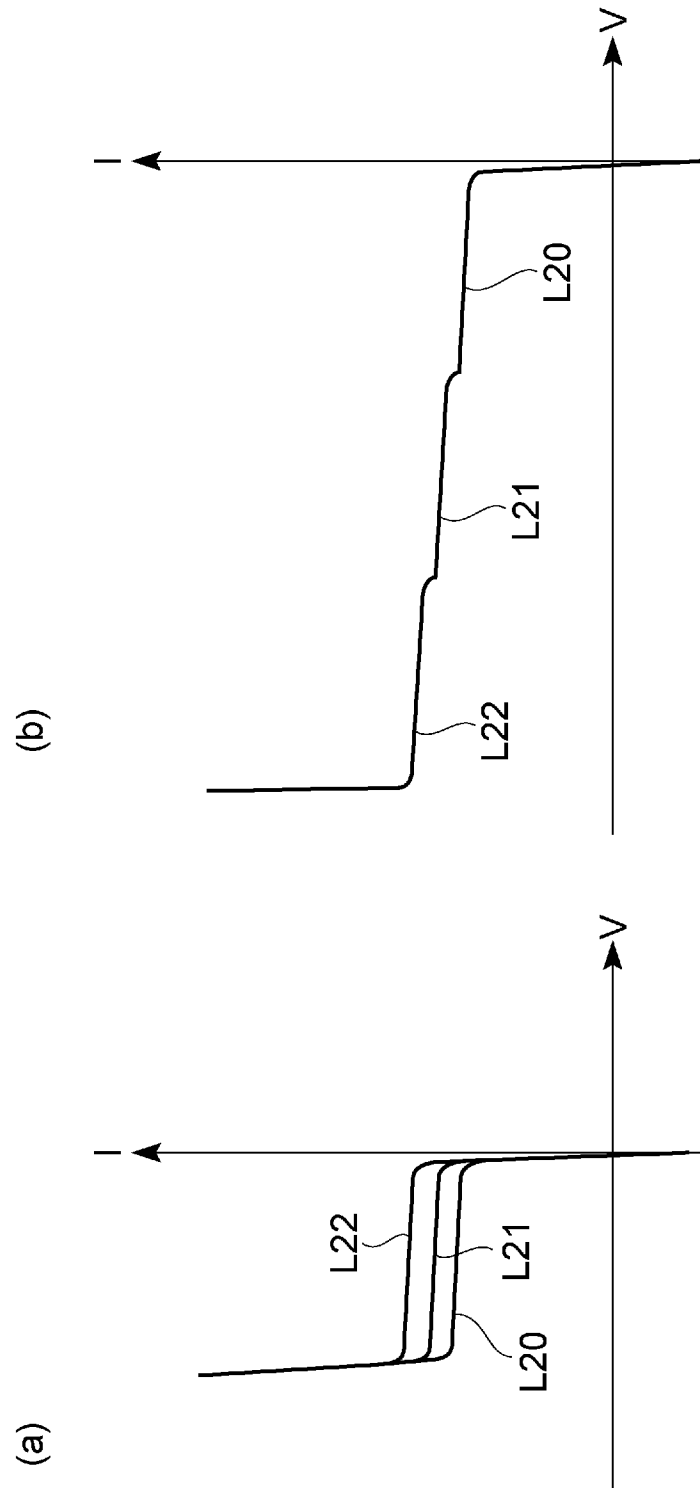
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/068153

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L31/04(2006.01)i, H02J1/04(2006.01)i, G01R31/40(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)

H01L31/04, H02J1/04, G01R31

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	JP 2005-253171 A (Yamatake Corp.), 15 September 2005 (15.09.2005), (Family: none)	1-5
Y	JP 2001-174530 A (Maki Manufacturing Co., Ltd.), 29 June 2001 (29.06.2001), (Family: none)	1-5
A	JP 58-175925 A (Mitsubishi Electric Corp.), 15 October 1983 (15.10.1983), (Family: none)	1-5
P, A	JP 2013-80745 A (Mitsubishi Electric Corp.), 02 May 2013 (02.05.2013), (Family: none)	1-5

☒ 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 September, 2013 (05.09.13)

Date of mailing of the international search report
17 September, 2013 (17.09.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/068153

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	WO 2013/115236 A1 (JX Nippon Oil & Energy Corp.), 08 August 2013 (08.08.2013), (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L31/04(2006.01)i, H02J1/04(2006.01)i, G01R31/40(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. H01L31/04, H02J1/04, G01R31

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	JP 2005-253171 A (山武) 2005.09.15, (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2001-174530 A (マキ製作所) 2001.06.29, (ファミリーなし)	1-5
A	JP 58-175925 A (三菱電機) 1983.10.15, (ファミリーなし)	1-5
PA	JP 2013-80745 A (三菱電機) 2013.05.02, (ファミリーなし)	1-5
PA	WO 2013/115236 A1 (J X 日鉱日石エネルギー) 2013.08.08, (ファミリーなし)	1-5

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

0 5 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 9 . 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）

濱田 聖司

2 K

9 2 0 7

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