

(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
2019年6月27日(27.06.2019)



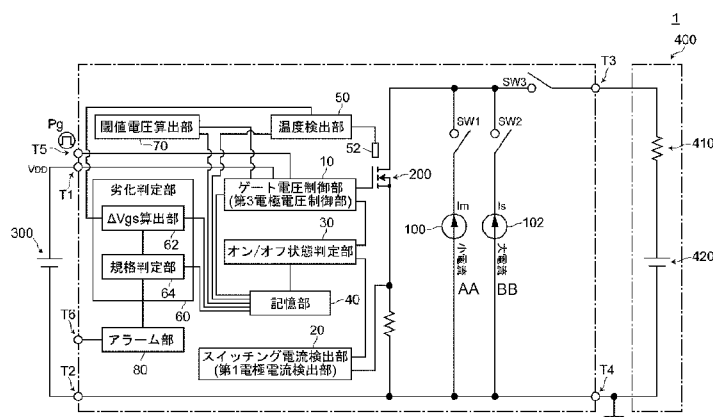
(10) 国際公開番号

WO 2019/123643 A1

- (51) 国際特許分類:
H02M 1/08 (2006.01) *G01R 31/26* (2014.01)
G01R 31/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/046185
- (22) 国際出願日: 2017年12月22日(22.12.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 新電元工業株式会社 (SHIN-DENGEN ELECTRIC MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1000004 東京都千代田区大手町二丁目2番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 鈴木 健一 (SUZUKI, Kenichi); 〒3578585 埼玉県飯能市南町10番13号 新電元工業株式
- 会社工場内 Saitama (JP). 宮澤 亘 (MIYAZAWA, Wataru); 〒3578585 埼玉県飯能市南町10番13号 新電元工業株式会社工場内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 松尾 誠剛 (MATSUO, Nobutaka); 〒4080044 山梨県北杜市小淵沢町1037番地5 めぶき国際特許業務法人 Yamanashi (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, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, 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,

(54) Title: POWER MODULE

(54) 発明の名称: パワーモジュール



- 10 Gate voltage control unit (third electrode voltage control unit)
20 Switching current detection unit (first electrode current detection unit)
30 ON/OFF status assessment unit
40 Storage unit
50 Temperature detection unit
60 Degradation assessment unit
62 ΔVgs calculation unit
64 Standard assessment unit
70 Threshold voltage calculation unit
80 Alarm unit
AA Small current
BB Large current

(57) Abstract: The power module 1 according to the present invention is configured so as to implement switching between a control mode for controlling the ON/OFF operation of a switching element 200 having a first electrode, a second electrode, and a third electrode, and a degradation assessment mode for assessing degradation on the basis of information including ΔVgs on the basis of information including a threshold voltage detected prior to supplying current for stress to the switching element and a threshold voltage detected after supplying current for stress to the switching element. This

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))

power module 1 can assess degradation during operation, and can thereby prevent a device from being damaged, increase the utilization rate, and reduce costs.

(57) 要約: 本発明のパワーモジュール1は、第1電極、第2電極及び第3電極を有するスイッチング素子200のオン/オフ動作を制御する制御モードと、ストレス用電流をスイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流をスイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードとを切り替えて実施するように構成されている。本発明のパワーモジュール1によれば、動作時に劣化を判定することができるため、デバイスが破損することを防ぐができ、かつ、稼働率を高くすることができ、かつ、コストを低くすることができる。

明 細 書

発明の名称： パワーモジュール

技術分野

[0001] 本発明は、パワーモジュールに関する。

背景技術

[0002] 従来、スイッチング素子のオン／オフ動作を制御するパワーモジュールが知られている（例えば、特許文献１参照。）。

[0003] 従来のパワーモジュール９００は、図１６に示すように、第１電極、第２電極及びゲート電極を有するスイッチング素子８００と、スイッチング素子８００のオン／オフ動作を制御するためにゲート電圧を制御するゲート電圧制御部９１０とを備える。

[0004] 従来のパワーモジュール９００によれば、ゲート電圧制御部９１０によってゲート電圧を制御することによりスイッチング素子８００のオン／オフ動作を制御することができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献１：国際公開第２０１２／１５３４５９号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、近年、デバイスの実使用時にデバイスの劣化（以下、単に「劣化」という。）を判定することができるパワーモジュールが求められている。しかしながら、実使用時（動作時）に劣化を判定することは現実には困難であり、劣化した状態で使用を続けてデバイスが破損してしまうおそれがある、という問題があった。これを回避するためには劣化する前に定期的にデバイスを交換することが考えられるが、この場合には、交換頻度が高くなり稼働率が低下するだけでなく、コストも高くなる、という問題がある。

[0007] そこで、本発明は、上記した問題を解決するためになされたものであり、

実使用時に劣化を判定することによりデバイスが破損することを防ぐことができ、かつ、稼働率を高くすることができ、かつ、コストを低く抑えることができるパワーモジュール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

[0008] [1] 本発明のパワーモジュールは、第1電極、第2電極及び第3電極を有するスイッチング素子のオン／オフ動作を制御する制御モードと、ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧と前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、前記 ΔV_{gs} を含む情報に基づいてデバイスの劣化を判定する劣化判定モードとを切り替えて実施するように構成されていることを特徴とする。

[0009] なお、本明細書中、 ΔV_{gs} は、ストレス用電流をスイッチング素子に供給する前に閾値電圧を測定し、ストレス用電流をスイッチング素子に所定期間供給した後、再び閾値電圧を測定することによって得られた2つの閾値電圧に基づいて算出された値（基本的には、ストレス用電流をスイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧と、ストレス用電流をスイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧の差）のことをいう。

[0010] [2] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記スイッチング素子と、前記劣化判定モードにおいて閾値電圧を測定する際には、第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、前記制御モードにおいては、前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御するために前記第3電極電圧を制御する第3電極電圧制御部と、前記劣化判定モードにおいて、前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定するオン／オフ状態判定部と、前記スイッチング素子の初期 ΔV_{gs} を記憶し、かつ、前記劣化判定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったと判定されたときに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を閾値電圧として記憶する記憶部と、前記劣化判定モードにおいて、前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧と、

前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて前記 ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} 及び前記初期 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて前記デバイスの劣化を判定する劣化判定部と、前記スイッチング素子と直列に接続され、負荷抵抗及び駆動電源を有するパワー回路とを備えることが好ましい。

[0011] [3] 本発明のパワーモジュールにおいて、前記パワーモジュールは、前記制御モード実施前に前記スイッチング素子の前記初期 ΔV_{gs} を検出する初期測定モードを実施するように構成されており、前記初期測定モードにおいて、前記第3電極電圧制御部は、閾値電圧を測定する際には、前記第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、前記オン／オフ状態判定部は、前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定し、前記記憶部は、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったと判定されたときに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を閾値電圧として記憶し、前記劣化判定部は、前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給する前に検出された前記閾値電圧である初期閾値電圧と、前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて前記初期 ΔV_{gs} を算出することが好ましい。

[0012] [4] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記第3電極電圧制御部は、前記制御モードにおいて、前記スイッチング素子をオン状態とするときに、前記初期測定モードで測定された前記初期閾値電圧を含む情報に基づいて前記第3電極電圧を制御することが好ましい。

[0013] [5] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記スイッチング素子の動作温度を検出する温度検出部をさらに備え、前記記憶部は、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報、及び、初期動作温度を含む情報をさらに記憶し、前記劣化判定部は、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報、並びに、前記初期 ΔV_{gs} 、前記劣化判定モードにおいて検出された前記 ΔV_{gs} 、前記初期動作温度、及び、前記劣

化判定モードにおいて前記温度検出部で検出された前記スイッチング素子の動作温度を含む情報に基づいて前記デバイスの劣化を判定することが好ましい。

[0014] [6] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記温度検出部によって検出された前記スイッチング素子の前記動作温度と、前記初期閾値電圧、及び、前記スイッチング素子の前記初期動作温度とを含む情報、並びに、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報に基づいて前記スイッチング素子の動作時の閾値電圧を算出する閾値電圧算出部をさらに備え、前記第3電極電圧制御部は、前記制御モードにおいて、前記スイッチング素子をオン状態とするときに、前記閾値電圧算出部によって算出された前記動作時の閾値電圧に基づいて前記第3電極電圧を制御することが好ましい。

[0015] [7] 本発明のパワーモジュールにおいて、前記パワーモジュールは、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性を測定する温度特性測定モードをさらに実施するパワーモジュールであって、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性を算出する温度特性算出部をさらに備え、前記温度特性測定モードにおいて、前記第3電極電圧制御部は、前記第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、前記オン／オフ状態判定部は、前記スイッチング素子がオンしたか否かを判定し、前記記憶部は、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったことを判定したときに、前記スイッチング素子の前記動作温度を記憶するとともに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を前記スイッチング素子の温度特性測定時閾値電圧として記憶し、前記温度特性算出部は、前記初期閾値電圧、前記初期閾値電圧を測定したときの前記スイッチング素子の前記初期動作温度、前記温度特性測定モードにおいて前記温度検出部によって検出された前記スイッチング素子の前記動作温度、及び、前記温度特性測定時閾値電圧を含む情報に基づいて前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性を算出することが好ましい。

[0016] [8] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記スイッチング素子を流れ

る第1電極電流を検出する第1電極電流検出部をさらに備え、記劣化判定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部は、前記第1電極電流検出部による前記第1電極電流の検出結果に基づいて前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定することが好ましい。

[0017] [9] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記劣化判定部による前記デバイスの劣化の検出結果を外部に表示するアラーム部をさらに備えることが好ましい。

[0018] [10] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記劣化判定モードにおいて前記スイッチング素子に前記ストレス用電流を供給するストレス用電流供給部をさらに備えることが好ましい。

[0019] [11] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記パワー回路においては、供給する電力が一定であり、前記劣化判定モードにおいて、前記ストレス用電流は、前記駆動電源から流れる電流から供給されることが好ましい。

[0020] [12] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記第3電極電圧制御部は、前記スイッチング素子の閾値電圧を検出する場合には、前記第3電極電圧が時間経過に伴って階段状に高くなるように前記第3電極電圧を制御することが好ましい。

[0021] [13] 本発明のパワーモジュールにおいては、前記第3電極電圧制御部は、前記スイッチング素子の閾値電圧を検出する場合には、前記第3電極電圧が、時間経過に伴って振幅の大きなパルスとなるパルス状の電圧になるように、前記第3電極電圧を制御することが好ましい。

[0022] [14] 本発明のパワーモジュールにおいて、前記スイッチング素子は、Ga₂N、SiC又はGa₂O₃を含む材料により形成されたものであることが好ましい。

発明の効果

[0023] 本発明のパワーモジュールによれば、ストレス用電流をスイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流をスイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し

、当該 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードを実施するように構成されているため、実使用時（動作時）に劣化を判定することができ、劣化した状態で使用を続けることに起因してデバイスが破損することを防ぐことができる。

[0024] 本発明のパワーモジュールによれば、ストレス用電流をスイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流をスイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードを実施するように構成されているため、デバイスを使用する者が劣化するタイミングを知ることができ、そのタイミング（劣化する段階のタイミング）でデバイスを交換することができるため、デバイスが劣化する前に定期的にデバイスを交換する必要がなくなる。従って、交換頻度が低くなるため、稼働率を高くすることができ、かつ、コストを低く抑えることができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]実施形態1に係るパワーモジュール1の回路図である。

[図2]スイッチング素子の閾値電圧 V_{th} ・動作温度 T の関係を示すグラフの模式図である。

[図3]初期測定モードにおいてストレス用電流 I_s をスイッチング素子に供給する前に閾値電圧（初期閾値電圧 V_{th0} ）を測定するときのブロック図である。

[図4]実施形態1における初期閾値電圧測定モード及び（又は）劣化判定モードを説明するために示す、ゲート電圧のグラフの模式図である。

[図5]劣化判定モードにおけるゲート電圧の模式的な波形図である。

[図6]初期測定モードにおいてストレス用電流 I_s をスイッチング素子に供給した後に閾値電圧を測定するときのブロック図である。

[図7]制御モードのブロック図である。

[図8]制御モードにおいて、閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加する場合の効果について説明するために示すゲート電圧（ゲート・

ソース間電圧) V_{gs} の時間変化のグラフの模式図である。図 8 (a) は比較例に係るパワーモジュールにおいてゲート電極にゲート電圧を印加する場合のゲート・ソース間電圧 V_{gs} の時間変化を示すグラフの模式図であり、図 8 (b) は実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 において閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加する場合のゲート・ソース間電圧 V_{gs} の時間変化を示すグラフの模式図である。

[図9]劣化判定モードにおいてストレス用電流 I_s をスイッチング素子に供給する前に閾値電圧を測定するときのブロック図である。

[図10]劣化判定モードにおいてストレス用電流 I_s をスイッチング素子に供給した後に閾値電圧を測定するときのブロック図である。

[図11]実施形態 2 における温度特性測定モードを説明するために示すブロック図である。

[図12]実施形態 3 に係るパワーモジュール 2 の回路図である。

[図13]変形例 1 に係るパワーモジュール 3 の回路図である。

[図14]変形例 2 に係るパワーモジュール 4 の回路図である。

[図15]変形例 3 に係るパワーモジュールの初期閾値電圧測定モード及び(又は)劣化判定測定モードを説明するために示すグラフの模式図である。

[図16]従来のパワーモジュール 900 を説明するために示す図である。

発明を実施するための形態

[0026] 以下、本発明のパワーモジュールについて、図に示す実施形態に基づいて説明する。なお、各図面は模式図であり、必ずしも実際の回路構成やグラフを厳密に反映したものではない。

[0027] [実施形態 1]

1. 実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 の構成

実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 は、図 1 に示すように、スイッチング素子 200 と、ゲート電圧制御部 10 (第 3 電極電圧制御部) と、スイッチング電流検出部 (第 1 電極電流検出部) 20 と、オン／オフ状態判定部 30 と、記憶部 40 と、温度検出部 50 と、劣化判定部 60 と、閾値電圧算出

部70と、アラーム部80と、計測用電流供給部100と、ストレス用電流供給部102と、パワー回路400とを備える。実施形態1に係るパワーモジュール1は、高耐熱性・高絶縁性の樹脂やセラミックス等により形成されたパッケージで覆われている。実施形態1に係るパワーモジュール1には、直流の電源電圧 V_{DD} を入力する(+)側入力端子T1、接地側の(-)側入力端子T2、(+)側出力端子T3、接地側の(-)側出力端子T4、駆動信号(例えば、ゲートパルス) P_g を入力する制御端子T5、及び、外部のアラーム部(図示せず)に警報信号を送信するためのアラーム信号端子T6が設けられている。パワー回路400とスイッチング素子200との間にはスイッチSW3が設けられている。

[0028] (＋)側入力端子T1と(－)側入力端子T2との間には、電源電圧 V_{DD} を印加するためのゲートドライブ用電源300が接続されている。ゲートドライブ用電源300は、ゲート電圧制御部10を介してスイッチング素子200のゲート電極と接続されており、ゲート電極に電圧を供給する。(＋)側出力端子T3及び(－)側出力端子T4には、パワー回路400が接続されている。

[0029] パワー回路400は、スイッチング素子200と直列に接続されている。パワー回路400は、負荷抵抗410及び直流の駆動電源420を有し、負荷抵抗410及び直流の駆動電源420が(＋)側出力端子T3と(－)側出力端子T4との間に直列に接続されている。なお、(－)側出力端子T4は接地されている。

[0030] スwitching素子200は、ソース電極(第2電極)、ドレイン電極(第1電極)及びゲート電極(第3電極)を備えるMOSFETである。スイッチング素子200は、ゲート電極に閾値電圧を超えるゲート電圧(第3電極電圧)を印加するとオン状態となり、ゲート電圧が閾値電圧を下回るとオフ状態となる。ゲート電圧は、電源電圧 V_{DD} から供給され、ゲート電圧制御部10によって制御される。なお、スイッチング素子200は、実施形態1においてはMOSFETを用いるが、適宜のスイッチング素子を用いることが

できる。また、スイッチング素子200は、Ga Nを含む材料により形成されたものである。スイッチング素子200においては、Ga Nを含む場合、ゲート電極の絶対最大定格電圧と閾値電圧との差が小さくなる。

[0031] スwitching素子200のドレイン電極は、(+)側出力端子T3を介してパワー回路400と接続されている。スイッチング素子200のゲート電極は、ゲート電圧制御部10と接続されている。スイッチング素子200のソース電極は抵抗を介して(-)側出力端子T4と接続されている。

[0032] ゲート電圧制御部10は、入力された駆動信号Pg(例えば、ゲートパルス)に基づいて、初期測定モード及び劣化判定モードにおいて閾値電圧を測定する際には、ゲート電圧が段階的に高くなるようにゲート電圧を制御し、制御モードにおいては、スイッチング素子200のオン/オフ動作を制御するためにゲート電圧を制御する。ゲート電圧制御部10は、オン/オフ状態判定部30、記憶部40及び閾値電圧算出部70と接続されている。

[0033] スwitching電流検出部20は、スイッチング素子200のソース電極と接続され、初期測定モード及び劣化判定モードにおいて、スイッチング素子200のスイッチング電流Id(第1電極電流、ドレイン電流あるいはソース電流という)を検出する。また、スイッチング電流検出部20は、オン/オフ状態判定部30と接続されている。なお、スイッチング電流検出部20は、スイッチング素子200のソース電極に接続した抵抗に電流を流して電圧に変換することによって計測しているが、適宜の検出装置(例えば、ログスキーコイル等)を用いてもよい。

[0034] オン/オフ状態判定部30は、初期測定モード及び劣化判定モードにおいて、スイッチング電流検出部20から受信したスイッチング電流の検出結果に基づいてスイッチング素子200のオン/オフ状態を判定する。オン/オフ状態判定部30は、ゲート電圧制御部10及びスイッチング電流検出部20と接続されている。

[0035] 記憶部40には、スイッチング素子200における閾値電圧の温度特性に関する情報及び劣化判定に用いる規格値があらかじめ記憶されている。また

、記憶部40は、初期測定モード又は劣化判定モードで検出・算出される、スイッチング素子200の初期 ΔV_{gs} 、初期閾値電圧 V_{th0} 及び閾値電圧 V_{th} 、並びに、スイッチング素子200の初期動作温度 T_0 及び動作温度 T を記憶する。また、記憶部40は、初期測定モード及び劣化判定モードにおいて、オン／オフ状態判定部30によってスイッチング素子200がオン状態になったと判定されたときに、ゲート電極に印加したゲート電圧を閾値電圧として記憶する。記憶部40は、ゲート電圧制御部10、温度検出部50、劣化判定部60（具体的には ΔV_{gs} 算出部62及び規格判定部64）及び閾値電圧算出部70と接続されている。

なお、初期動作温度 T_0 とは、初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときの温度のことを言う。

[0036] 温度検出部50は、温度検出素子52を有する。温度検出素子52としては、ダイオードやサーミスタ等適宜の温度検出素子を用いることができる。

[0037] 劣化判定部60は、劣化判定モードにおいて、ストレス用電流供給部102がストレス用電流 I_s をスイッチング素子200に供給する前に検出された閾値電圧と、ストレス用電流供給部102がストレス用電流 I_s をスイッチング素子200に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} 及び記憶部40に記憶された初期 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する。劣化判定部60は、 ΔV_{gs} 算出部62と、規格判定部64とを有する。

ΔV_{gs} 算出部62は、記憶部40及び温度検出部50と接続されており、劣化判定モード及び初期測定モードにおいて、 ΔV_{gs} （又は初期 ΔV_{gs} ）を算出する。 ΔV_{gs} 算出部62は、劣化判定モードにおいては、温度検出部50からの動作温度の情報と、記憶部40に記憶された閾値電圧の情報に基づいて（すなわち、初期動作温度 T_0 からの温度変化を考慮した閾値電圧に基づいて） ΔV_{gs} を算出する。

規格判定部64は、「 ΔV_{gs} 算出部62で算出された ΔV_{gs} と記憶部40に記憶された初期 ΔV_{gs} との差」と、記憶部40に記憶された規格値

とを比較する。 ΔV_{gs} と初期 ΔV_{gs} との差が規格値よりも大きい場合には劣化していると判定する。

[0038] 閾値電圧算出部70は、記憶部40から、スイッチング素子200の初期閾値電圧 V_{th0} 、スイッチング素子200の初期動作温度 T_0 を含む情報、並びに、スイッチング素子200における閾値電圧の温度特性に関する情報を読み取るとともに、温度検出部50からスイッチング素子200の動作温度 T を読み取り、 $V_{th} = V_{th0} - \alpha (T - T_0)$ の特性式に代入し、動作時の閾値電圧 V_{th} を算出する。

[0039] アラーム部80は、劣化判定部60による劣化の検出結果を外部に表示する。特に、規格判定部64において劣化していると判定された場合、アラーム部80は、外部のアラームへ向かって警報信号を送信する。

[0040] 計測用電流供給部100は、スイッチング素子200のドレイン電極とスイッチSW1を介して接続されており、劣化判定モード及び初期測定モードにおいてはスイッチSW1をオンすることにより、スイッチング素子200のドレイン電極に比較的小電流の計測用電流 I_m を供給する。

ストレス用電流供給部102は、計測用電流供給部100と並列に接続されている。ストレス用電流供給部102は、スイッチング素子200のドレイン電極とスイッチSW2を介して接続されており、劣化判定モード及び初期測定モードにおいてはスイッチSW2をオンすることにより、スイッチング素子200に比較的大電流のストレス用電流 I_s を供給する。

[0041] なお、スイッチング素子200における閾値電圧の温度特性に関する情報は、スイッチング素子200における閾値電圧の温度係数を α とし、動作時の閾値電圧を V_{th} とし、初期閾値電圧を V_{th0} とし、温度検出部50によって検出されたスイッチング素子200の動作温度を T とし、初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときのスイッチング素子200の初期動作温度を T_0 としたときに、 $V_{th} = V_{th0} - \alpha (T - T_0)$ の関係を満たす特性式である（図2参照。）。すなわち、閾値電圧 V_{th} とスイッチング素子200の動作温度 T との関係は、傾きが負の1次関数となっている。

[0042] 2. 実施形態1に係るパワーモジュール1の動作について

実施形態1に係るパワーモジュール1は、制御モード実施前にスイッチング素子200の初期 ΔV_{gs} を検出する初期測定モードと、ドレイン電極、ソース電極及びゲート電極を有するスイッチング素子200のオン／オフ動作を制御する制御モードと、ストレス用電流 I_s をスイッチング素子200に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流 I_s をスイッチング素子200に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードとを切り替えて実施するように構成されている。実施形態1に係るパワーモジュール1は、まず、初期測定モードを実施することにより、初期閾値電圧 V_{th0} 、初期 ΔV_{gs} 及び初期動作温度 T_0 を検出・算出する。次に、制御モードを実施することにより、スイッチング素子200のオン／オフ動作を制御する。そして、所定のタイミング（例えば、制御モードを所定時間実施した後）で、劣化判定モードに切り替えて劣化判定を行う。劣化判定の結果問題がなければ再び制御モードに戻り、問題がある場合には、アラーム部80から外部のアラームに向けて警報信号を送出する。

[0043] (1) 初期測定モード

初期測定モードは、スイッチング素子200の初期動作温度 T_0 、初期閾値電圧 V_{th0} 及び初期 ΔV_{gs} を測定するモードである。このモードは、制御モード実施前（スイッチSW3をオンして駆動電源420からスイッチング素子200に電力を供給する前）に行う。

なお、事前に記憶部40にスイッチング素子200における閾値電圧の温度特性に関する情報を記憶させておく。スイッチング素子200の温度変動に起因して閾値電圧が初期閾値電圧 V_{th0} から変動するため（温度が高くなると閾値電圧が小さくなる。図2参照。）、温度変動を考慮して閾値電圧を算出しなければ ΔV_{gs} を正確に算出することが難しいからである。また、實際上、 ΔV_{gs} は比較的小さい値になるため、温度変動を考慮した閾値電圧を用いて ΔV_{gs} を算出する必要があるからでもある。

[0044] (1-1) 1回目の閾値電圧の測定

スイッチSW2、SW3をOFFにした状態でスイッチSW1をONにし、計測用電流供給部100からスイッチング素子200に計測用電流 I_m を供給する(図1及び図3参照。)。次に、ゲート電圧制御部10は、想定されている初期閾値電圧よりも低い電圧をゲート電極に印加するようにゲート電圧を制御する。このとき、スイッチング電流検出部20によってスイッチング電流は検出されない(スイッチング電流の値が0である)ため、オン/オフ状態判定部30は、スイッチング素子200がオフ状態であると判定する。オン/オフ状態判定部30によってスイッチング素子200がオフ状態であると判定すると、ゲート電圧制御部10は、ゲート電圧が一段階高くなるようにゲート電圧を制御する(図4参照。)

[0045] これを繰り返してゲート電圧を段階的に高くしていき(具体的には階段状に高くしていき)、スイッチング電流検出部20によってスイッチング電流が検出されたとき(スイッチング電流の値が0でなくなったとき)、オン/オフ状態判定部30は、スイッチング素子200がオン状態であると判定する(図3参照。)。このとき、温度検出部50によって検出されたスイッチング素子200の動作温度を初期動作温度 T_0 として記憶部40へ送信するとともに、ゲート電圧制御部10は、ゲート電極に印加したゲート電圧 V_{gs} を初期閾値電圧 V_{th_0} として記憶部40へ送信する。そして、記憶部40では、当該ゲート電圧 V_{gs} を初期閾値電圧 V_{th_0} として記憶する。

[0046] (1-2) ストレス用電流 I_s 供給

次に、スイッチSW1、SW3をOFFにした状態でスイッチSW2をONにし、ストレス用電流供給部102から所定の電流量でスイッチング素子200にストレス用電流 I_s を供給する(図1及び図5参照。)。ゲート電圧制御部10は、スイッチング素子200が所定時間オンした状態となるようにゲート電圧を制御する(図5参照。)。これによりスイッチング素子200に所定の電力を印加することとなるため、スイッチング素子200が発熱する。

[0047] (1-3) 2回目の閾値電圧の測定

次に、スイッチSW2、SW3をOFFにした状態でスイッチSW1をONにし、計測用電流供給部100からスイッチング素子200に計測用電流 I_m を供給する(図1参照。)

そして、上記(1-1)と同様の方法で閾値電圧を測定し、ゲート電圧制御部10は、ゲート電極に印加したゲート電圧 V_{gs} を「ストレス用電流 I_s をスイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧」(閾値電圧 V_{th1})として記憶部40へ送信する(図6参照。)。そして、記憶部40では、当該ゲート電圧 V_{gs} を閾値電圧 V_{th1} として記憶する。

[0048] (1-4) ΔV_{gs} 算出

次に、劣化判定部60の ΔV_{gs} 算出部62において、初期閾値電圧 V_{th0} と閾値電圧 V_{th1} に基づいて(初期閾値電圧 V_{th0} から閾値電圧 V_{th1} を引き算して)、 ΔV_{gs} (初期 ΔV_{gs})を算出する。 ΔV_{gs} 算出部62は、算出された ΔV_{gs} (初期 ΔV_{gs})を記憶部40へ送信し、記憶部40は、当該 ΔV_{gs} を初期 ΔV_{gs} として記憶する(図6参照。)

[0049] (2) 制御モード

初期測定モードが終了したら、スイッチSW1、SW2をOFFにした状態でスイッチSW3をONにし、パワー回路400とスイッチング素子200とを導通し、駆動電源420からスイッチング素子200に電流を供給する(図1参照。)

[0050] スイッチング素子200をオン状態とするとき、ゲート電極に印加するゲート電圧を以下のようにして決定する(図7参照。)

まず、温度検出部50が温度検出素子52を介してスイッチング素子200の動作温度 T を検出する。

閾値電圧算出部70は、記憶部40から、初期測定モードで検出したスイッチング素子200の初期閾値電圧 V_{th0} 、初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときのスイッチング素子200の初期動作温度 T_0 を含む情報、並びに、スイッチング素子200における閾値電圧の温度特性に関する情報 α を読み取

るとともに、温度検出部50からスイッチング素子200の動作温度 T を読み取り、 $V_{th} = V_{th_0} - \alpha (T - T_0)$ の特性式に代入し、動作時の閾値電圧 V_{th} を算出する。

次に、ゲート電圧制御部10は、閾値電圧算出部70で算出された動作時の閾値電圧 V_{th} に基づいて、当該閾値電圧 V_{th} をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加する（ゲート電圧を制御する。図8（b）参照。）。これにより、スイッチング素子200のオン／オフ動作を制御する。

[0051] なお、実施形態1に係るパワーモジュール1においては、逐次スイッチング素子200の温度に追従してゲート電圧を制御してもよいし、所定時間ごとにスイッチング素子200の動作温度を検出して動作時の閾値電圧を算出し、当該動作時の閾値電圧に基づいてゲート電圧を制御してもよい。

[0052] （3）劣化判定モード

実施形態1に係るパワーモジュール1は、所定のタイミングで（例えば、制御モードを所定時間実施する毎に）、劣化判定モードを実施する。劣化判定部60は、スイッチング素子200における閾値電圧の温度特性に関する情報、並びに、初期 ΔV_{gs} 、劣化判定モードにおいて検出された ΔV_{gs} 、初期動作温度 T_0 、及び、劣化判定モードにおいて温度検出部50で検出されたスイッチング素子200の動作温度 T を含む情報に基づいて劣化を判定する。

劣化判定モードにおいては、（3-1）1回目の閾値電圧測定、（3-2）ストレス用電流供給、（3-3）2回目の閾値電圧測定、（3-4） ΔV_{gs} 算出、（3-5）規格判定（劣化判定）の順に工程を実施する。このうち、（3-1）1回目の閾値電圧測定から（3-3）2回目の閾値電圧測定までの方法は、初期測定モードにおける（1-1）1回目の閾値電圧測定から（1-3）2回目の閾値電圧測定までの方法と同様の方法である。すなわち、劣化判定モードにおいて、（3-1）1回目の閾値電圧測定により、このときのスイッチング素子200の動作温度 T_1 及び検出した閾値電圧 V_{th_2} を記憶部40へ記憶し（図9参照。）、（3-2）初期測定モードにおける

ストレス用電流供給の場合と同様の条件でストレス用電流 I_s を供給し、その後、(3-3) 2 回目の閾値電圧測定によって、閾値電圧 V_{th3} を検出し、検出した閾値電圧 V_{th3} を記憶部 40 へ記憶する (図 10 参照。)。

[0053] (3-4) ΔV_{gs} 算出

ΔV_{gs} 算出部 62 は、記憶部 40 から送信された、初期動作温度 T_0 、劣化判定モードにおける 1 回目の閾値電圧測定により記憶部 40 に記憶されたスイッチング素子 200 の動作温度 T_1 及び閾値電圧 V_{th2} 、2 回目の閾値電圧測定により記憶部 40 に記憶された閾値電圧 V_{th3} に基づいて ΔV_{gs} を算出する (図 10 参照。)。

具体的には、まず劣化判定部 60 (ΔV_{gs} 算出部 62) は、記憶部 40 から、(初期測定モードで検出した) スwitching 素子 200 の初期閾値電圧 V_{th0} 、初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときのスイッチング素子 200 の初期動作温度 T_0 、劣化判定モードにおける 1 回目の閾値電圧測定において記憶部 40 に記憶されたスイッチング素子 200 の動作温度 T_1 及び閾値電圧 V_{th2} 、2 回目の閾値電圧測定において記憶部 40 に記憶された閾値電圧 V_{th3} を含む情報、並びに、スイッチング素子 200 における閾値電圧の温度特性に関する情報 (温度係数 α を含む) を読み取り、 $V_{th} = V_{th0} - \alpha (T - T_0)$ の特性式に代入して、温度補正された閾値電圧 V_{th2}' 及び V_{th3}' を算出する。

次に、温度補正された閾値電圧 V_{th2}' から V_{th3}' を引き算して ΔV_{gs} を算出する。算出された ΔV_{gs} は規格判定部 64 に送信される。

[0054] (3-5) 規格判定 (劣化判定)

次に、規格判定部 64 は、記憶部 40 から初期 ΔV_{gs} 及び規格値を読み取り、そして、 ΔV_{gs} 算出部 62 から送信された ΔV_{gs} に基づいて、(ΔV_{gs} - 初期 ΔV_{gs}) を算出し、その値と規格値とを比較する。そして、アラーム部 80 は、劣化判定部 60 (規格判定部 64) による劣化の検出結果を外部に表示する。実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 は、(ΔV_{gs} - 初期 ΔV_{gs}) が規格値よりも小さい場合には、劣化していないと判断

し、制御モードに戻る。 $(\Delta V_{gs} - \text{初期} \Delta V_{gs})$ が規格値よりも大きい場合には、アラーム部 80 から外部のアラーム（図示せず。）に向かって警報信号を送出する。

[0055] 3. 実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 の効果

実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 によれば、ストレス用電流 I_s をスイッチング素子 200 に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流 I_s をスイッチング素子 200 に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードを実施するように構成されているため、実使用時（動作時）に劣化を判定することができ、劣化した状態で使用を続けることに起因してデバイスが破損することを防ぐことができる。

[0056] また、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 によれば、ストレス用電流 I_s をスイッチング素子 200 に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流 I_s をスイッチング素子 200 に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードを実施するように構成されているため、デバイスを使用する者が、劣化するタイミングを知ることができ、そのタイミング（劣化する段階のタイミング）でデバイスを交換することができるため、劣化するタイミングを知ることができ劣化する前に定期的にデバイスを交換する必要がなくなる。従って、交換頻度が低くなるため、稼働率を高くすることができ、かつ、コストを低く抑えることができる。

[0057] また、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 は、劣化判定モードにおいて、ストレス用電流 I_s をスイッチング素子 200 に供給する前に検出された閾値電圧 V_{th2} と、ストレス用電流 I_s をスイッチング素子 200 に供給した後に検出された閾値電圧 V_{th3} とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} 及び初期 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定部 60 を備える。このような構成とすることによって、製造バラツキに起因してスイッチング素子 200 の閾値電圧にバラツキがあったとしても、

パワーモジュールに実際に備えたスイッチング素子200の実際の閾値電圧を測定することができるため、 ΔV_{gs} を正確に算出することができる。その結果、実使用時に劣化を正確に判定することができる。

[0058] また、実施形態1に係るパワーモジュール1によれば、劣化判定部60は、初期測定モードにおいて、ストレス用電流 I_s をスイッチング素子200に供給する前に検出された閾値電圧である初期閾値電圧 V_{th0} と、ストレス用電流 I_s をスイッチング素子200に供給した後に検出された閾値電圧 V_{th1} とを含む情報に基づいて初期 ΔV_{gs} を算出するため、スイッチング素子の製造バラツキによって実際の閾値電圧が設計上の閾値電圧から変動していた場合でも、実際の閾値電圧に基づいて（設計値ではなく、バラツキがあった場合でもそのスイッチング素子に対応した現実の） ΔV_{gs} を算出することができる。従って、設計値ではなく、実際の劣化を正確に判定することができる。

[0059] また、実施形態1に係るパワーモジュール1によれば、ゲート電圧制御部10は、制御モードにおいて、スイッチング素子200をオン状態とするときに、初期測定モードで測定された初期閾値電圧 V_{th0} を含む情報に基づいてゲート電圧を制御するため、実際の閾値電圧がスイッチング素子200の製造バラツキによって設計上の閾値電圧から変動していた場合でも、制御モードにおいて、スイッチング素子200をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて実際の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加することができる。従って、あらかじめ設計された閾値電圧を大きく超えるゲート電圧をゲート電極に印加する場合（比較例。図8（a）参照。）と比較して、ターンオン期間及びターンオフ期間を短くすることができるため、スイッチング速度を速くすることができ、その結果、スイッチング素子200のスイッチング損失を小さくすることができる。

[0060] ところで、一般的に、スイッチング素子200の実際の閾値電圧は、スイッチング素子200の温度変動に起因して初期閾値電圧 V_{th0} から変動すること、及び、 ΔV_{gs} が比較的小さいことから、実際の ΔV_{gs} を正確に算

出することは難しいが、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 によれば、劣化判定部 60 は、スイッチング素子 200 における閾値電圧の温度特性に関する情報、並びに、初期 ΔV_{gs} 、劣化判定モードにおいて検出された ΔV_{gs} 、初期動作温度 T_0 、及び、劣化判定モードにおいて温度検出部 50 で検出されたスイッチング素子 200 の動作温度 T を含む情報に基づいて劣化を判定するため、温度変動を考慮して閾値電圧を算出することができ、比較的小さい値になる実際の ΔV_{gs} を正確に算出することができる。

[0061] また、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 によれば、閾値電圧算出部 70 は、温度検出部 50 によって検出されたスイッチング素子 200 の動作温度 T を含む情報に基づいてスイッチング素子 200 の動作時の閾値電圧 V_{th} を算出し、ゲート電圧制御部 10 は、制御モードにおいて、スイッチング素子 200 をオンするときに、閾値電圧算出部 70 によって算出された動作時の閾値電圧 V_{th} に基づいてゲート電圧を制御するため、動作時のスイッチング素子 200 の動作温度 T がスイッチング素子 200 の初期動作温度 T_0 よりも高くなることに起因して動作時の閾値電圧 V_{th} が初期閾値電圧 V_{th_0} から変動する場合でも、動作時の閾値電圧 V_{th} をわずかに超える電圧をゲート電極に印加することができる。従って、ターンオン期間及びターンオフ期間を短くすることができ、その結果、スイッチング損失を小さくすることができる。

[0062] また、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 によれば、GaN を含む材料により形成されたスイッチング素子のようにゲート電極の絶対最大定格電圧と閾値電圧との差が小さい場合であっても、動作時の閾値電圧 V_{th} をわずかに超える電圧をゲート電極に印加することができる。従って、ターンオン期間及びターンオフ期間を短くすることができ、その結果、スイッチング損失を小さくすることができる。また、閾値電圧 V_{th} が温度変動すること起因して「閾値電圧（設計上の閾値電圧）をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加してもスイッチング素子 200 がオン状態にならない現象」が発生することを防ぐことができ、その結果、スイッチング素子 200 のオ

ン／オフ動作を確実に制御することができる。

[0063] また、実施形態１に係るパワーモジュール１によれば、劣化判定モードにおいて、オン／オフ状態判定部３０は、スイッチング電流検出部２０によるスイッチング電流 I_d の検出結果に基づいてスイッチング素子２００のオン／オフ状態を判定するため、スイッチング素子２００の閾値電圧を簡便に、かつ、確実に測定することができる。

[0064] また、実施形態１に係るパワーモジュール１によれば、劣化判定部６０による劣化の検出結果を外部に表示するアラーム部８０を備えるため、デバイスの実使用時においても外部から劣化を知ることができる。

[0065] また、実施形態１に係るパワーモジュール１によれば、劣化判定モードにおいてスイッチング素子２００にストレス用電流 I_s を供給するストレス用電流供給部１０２を備えるため、初期測定モードと劣化判定モードとで同じ条件の電力をスイッチング素子２００に供給することができる。このため、 ΔV_{gs} と初期 ΔV_{gs} との差を正確に算出することができ、正確に劣化を判定することができる。

[0066] また、実施形態１に係るパワーモジュール１によれば、ゲート電圧制御部１０は、劣化判定モード及び初期測定モードにおいては、ゲート電圧が時間経過に伴って階段状に高くなるようにゲート電圧を制御するため、スイッチング素子２００の閾値電圧を効率的に、かつ、確実に測定することができる。

[0067] さらにまた、実施形態１に係るパワーモジュール１によれば、スイッチング素子２００がGaNを含む材料により形成されたものであるため、スイッチング素子２００のオン抵抗が低くなり、導通損失が小さいパワーモジュールとすることができる。

[0068] [実施形態２]

実施形態２に係るパワーモジュール（図示せず。）は、基本的には実施形態１に係るパワーモジュール１と同様の構成を有するが、温度特性算出部を備える点で実施形態１に係るパワーモジュール１の場合とは異なる。実施形

態２に係るパワーモジュールは、制御モードを所定時間実施した後に、スイッチング素子２００における閾値電圧の温度特性を測定する温度特性測定モードを実施する。

[0069] 温度特性算出部９０は、温度検出部５０及び記憶部４０と接続されており、スイッチング素子２００における閾値電圧の温度特性を算出する（図１１参照。）。

[0070] 温度特性測定モードにおいては、以下のような動作を行う。

制御モードを所定時間実施した後に、駆動電源４２０から電流供給をしない状態で計測用電流供給部１００からスイッチング素子２００のドレイン電極に計測用電流 I_m を供給する。

次に、ゲート電圧制御部１０は、想定されている（動作時の）閾値電圧よりも低い電圧をゲート電極に印加するようにゲート電圧を制御する。このとき、スイッチング電流検出部２０によってスイッチング電流は検出されない（スイッチング電流の値が０である）ため、オン／オフ状態判定部３０は、スイッチング素子２００がオフ状態であると判定する。オン／オフ状態判定部３０によってスイッチング素子２００がオフ状態であると判定すると、ゲート電圧制御部１０は、ゲート電圧が一段階高くなるようにゲート電圧を制御する（図４参照。）。

これを繰り返してゲート電圧が段階的に高くなるように（具体的には階段状に高くなるように）していき、スイッチング電流検出部２０によってスイッチング電流が検出されたとき（スイッチング電流の値が０でなくなったとき）、オン／オフ状態判定部３０は、スイッチング素子２００がオン状態であると判定する。このとき、温度検出部５０で検出されたスイッチング素子２００の動作温度 T_2 を記憶部４０へ送信し、記憶部４０が記憶する（図１参照。）。また、ゲート電圧制御部１０は、ゲート電極に印加したゲート電圧 V_{gs} を温度特性測定時閾値電圧 V_{th4} として記憶部４０へ送信し、記憶部４０は、当該ゲート電圧 V_{gs} を温度特性測定時閾値電圧 V_{th4} として記憶する。

[0071] 次に、温度特性算出部90は、記憶部40から、初期閾値電圧 V_{th0} 、初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときのスイッチング素子200の初期動作温度 T_0 及び温度特性測定時閾値電圧 V_{th4} を含む情報を読み取るとともに、温度特性測定モードにおいて温度検出部50から検出されたスイッチング素子200の動作温度 T_2 を読み取り、 $V_{th} = V_{th0} - \alpha (T - T_0)$ の特性式に $V_{th} = V_{th4}$ 、及び、 $T = T_2$ をそれぞれ代入して、温度特性（具体的には温度係数 α ）を算出する。算出された温度係数 α は記憶部40に記憶される。

[0072] 制御モードにおいては、閾値電圧算出部70は、温度特性測定モードで算出された温度係数 α 、温度検出部50で検出されたスイッチング素子200の動作温度 T 、記憶部40に記憶されている初期閾値電圧 V_{th0} 及び初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときのスイッチング素子200の初期動作温度 T_0 に基づいて動作時の閾値電圧 V_{th} を算出し、当該閾値電圧 V_{th} に基づいてゲート電圧を制御する。また、劣化判定モードにおいては、2回目の閾値電圧測定をした値に温度特性測定モードで測定された温度特性を用いて、温度補正された閾値電圧 V_{th2}' 及び V_{th3}' を算出する。

[0073] このように、実施形態2に係るパワーモジュールは、温度特性算出部をさらに備える点で実施形態1に係るパワーモジュール1の場合とは異なるが、実施形態1に係るパワーモジュール1の場合と同様に、ストレス用電流をスイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流をスイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードを実施するように構成されているため、 ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードを実施するように構成されているため、実使用時（動作時）に劣化を判定することができ、劣化した状態でデバイスの使用を続けることに起因してデバイスが破損することを防ぐことができる。

[0074] また、実施形態2に係るパワーモジュールによれば、温度特性算出部90

を備え、温度特性算出部 90 は、初期閾値電圧 V_{th0} 、初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときのスイッチング素子 200 の初期動作温度 T_0 、温度特性測定モードにおいて温度検出部 50 によって検出されたスイッチング素子 200 の動作温度 T_2 、及び、温度特性測定時閾値電圧 V_{th4} を含む情報に基づいてスイッチング素子 200 における閾値電圧の温度特性を算出するため、スイッチング素子 200 における閾値電圧の温度特性にバラツキがあった場合であっても、劣化判定モードにおいて、スイッチング素子 200 の温度特性のバラツキを考慮して正確に閾値電圧を算出することができ、その結果、 ΔV_{gs} をより一層正確に算出することができる。

[0075] また、実施形態 2 に係るパワーモジュールによれば、温度特性算出部 90 を備え、温度特性算出部 90 は、初期閾値電圧 V_{th0} 、初期閾値電圧 V_{th0} を測定したときのスイッチング素子 200 の初期動作温度 T_0 、温度特性測定モードにおいて温度検出部 50 によって検出されたスイッチング素子 200 の動作温度 T 、及び、温度特性測定時閾値電圧 V_{th4} を含む情報に基づいてスイッチング素子 200 における閾値電圧の温度特性を算出するため、実際の温度特性がスイッチング素子 200 の製造バラツキによって設計上の温度特性から変動していた場合であっても、動作時の閾値電圧を正確に算出することができ、動作時の閾値電圧 V_{th} をわずかに超える電圧を正確にゲート電極に印加することができる。従って、ターンオン期間及びターンオフ期間を短くすることができ、その結果、スイッチング損失を小さくすることができる。

[0076] なお、実施形態 2 に係るパワーモジュールは、温度特性算出部をさらに備える点以外の点においては実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 と同様の構成を有するため、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 が有する効果のうち該当する効果を有する。

[0077] [実施形態 3]

実施形態 3 に係るパワーモジュール 2 は、基本的には実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 と同様の構成を有するが、ストレス用電流供給部を備えな

い点で実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 の場合とは異なる。すなわち、実施形態 3 に係るパワーモジュール 3 においては、パワー回路 400 は、供給する電力が一定であり、劣化判定モードにおいて、ストレス用電流 I_s は、駆動電源 420 から供給される（図 12 参照。）。

[0078] パワー回路 400 は、負荷抵抗 410 の抵抗値及び駆動電源 420 の電圧値が一定であるため、供給する電力が一定である。劣化判定モードにおいては、1 回目の閾値電圧を測定した後、駆動電源 420 により一定期間、電力を供給した後（ストレス用電流 I_s に対応）、駆動電源 420 をオフにして 2 回目の閾値電圧を測定することにより ΔV_{gs} を算出する。

[0079] このように、実施形態 3 に係るパワーモジュール 2 は、ストレス用電流供給部を備えない点で実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 の場合とは異なるが、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 の場合と同様に、ストレス用電流をスイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧とストレス用電流をスイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて劣化を判定する劣化判定モードを実施するように構成されているため、実使用時（動作時）に劣化を判定することができ、劣化した状態で使用を続けることに起因してデバイスが破損することを防ぐことができる。

[0080] また、実施形態 3 に係るパワーモジュール 2 によれば、ストレス用電流供給部を備えないため、ストレス用電流供給部を備える場合よりもレイアウト及び回路構成が簡便となり、小型化したデバイスとすることができる。

[0081] なお、実施形態 3 に係るパワーモジュール 2 は、ストレス用電流供給部を備えない点以外の点においては実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 と同様の構成を有するため、実施形態 1 に係るパワーモジュール 1 が有する効果のうち該当する効果を有する。

[0082] 以上、本発明を上記の実施形態に基づいて説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されるものではない。その趣旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば、次のような変形も可能

である。

[0083] (1) 上記実施形態において記載した構成要素の数等は例示であり、本発明の効果を損なわない範囲において変更することが可能である。

[0084] (2) 上記各実施形態においては、制御モードで用いる閾値電圧を測定する際に計測用電流供給部 100 からスイッチング素子 200 に計測用電流 I_m を供給したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、スイッチング素子 200 のドレイン電極と接続された閾値電圧測定用電源 104 を設け、スイッチング素子 200 のドレイン電極に閾値電圧測定用の電流を供給することにより、制御モードで用いる閾値電圧を測定してもよい（変形例 1 に係るパワーモジュール 3、図 13 参照。）。このような構成とすることにより、 ΔV_{gs} を測定する際に用いる計測用電流供給部 100 から供給される電流とは異なる条件（電流量、電圧等）で閾値電圧を測定することができるため、制御モードで用いる閾値電圧を正確に測定することができる。

[0085] (3) 上記各実施形態においては、初期測定モード、制御モード及び劣化判定モードを実施するパワーモジュールとしたが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、制御モード及び劣化判定モードのみを実施するパワーモジュールとしてもよい。このとき、初期閾値電圧 V_{th0} 及び初期 ΔV_{gs} はあらかじめ記憶部に記憶されている。

[0086] (4) 上記各実施形態においては、制御モードでは、動作時の閾値電圧を算出し、当該動作時の閾値電圧に基づいてゲート電圧を制御したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、制御モードでは、初期閾値電圧に基づいてゲート電圧を制御してもよい（変形例 2 に係るパワーモジュール 4、図 14 参照。）。

[0087] (5) 上記各実施形態においては、スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報を、 $V_{th} = V_{th0} - \alpha (T - T_0)$ の関係を満たす特性式としたが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報を、別の特性式としてもよいし、あらかじめ記憶部に記憶された温度－閾値電圧の関係（1 対 1）を

示すデータであるとしてもよい。

[0088] (6) 上記各実施形態においては、初期測定モード及び劣化判定モードにおいて、ゲート電圧制御部 10 は、ゲート電圧が時間経過に伴って階段状に高くなるようにゲート電圧を制御したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、ゲート電圧制御部 10 は、ゲート電圧が時間経過に伴って振幅の大きなパルスとなるパルス状の電圧になるようにゲート電圧を制御してもよい(図 15 参照。)。

[0089] (7) 上記各実施形態において、パワーモジュールが 1 つのスイッチング素子を備えることとしたが、本発明はこれに限定されるものではない。パワーモジュールが複数のスイッチング素子を備えてもよい。この場合、パワーモジュールは当該複数のスイッチング素子を制御してもよい。

[0090] (8) 上記各実施形態において、スイッチング素子は、Ga Nを含む材料により形成されたものであるが、本発明はこれに限定されるものではない。スイッチング素子は、Si CやGa₂O₃等のワイドギャップ半導体を含む材料や、シリコンを含む材料により形成されたものであってもよい。

[0091] (9) 上記実施形態においては、スイッチング素子として、MOSFETを用いたが、本発明はこれに限定されるものではない。スイッチング素子として、MOSFET以外のスイッチング素子(例えば、HEMT、IGBT等)を用いてもよい。

[0092] (10) 上記各実施形態において、パワーモジュールの制御回路とパワー回路とを別々の半導体基体に形成してもよいし、パワーモジュールの制御回路とパワー回路とを同一の半導体基体に形成してもよい。また、スイッチング素子とスイッチング素子以外の回路部とを別々の半導体基体に形成してもよいし、スイッチング素子(例えば、Ga Nの横型構造の半導体素子)とスイッチング素子以外の回路部とを同一の半導体基体に形成してもよい。

符号の説明

[0093] 1, 2, 3, 4, 900…パワーモジュール、10, 910…ゲート電圧制御部、20…スイッチング電流検出部、30…オフ状態判定部、40…記

憶部、50…温度検出部、52…温度検出素子、60…劣化判定部、62… ΔV_{gs} 算出部、64…規格判定部、70…閾値電圧算出部、80…アラーム部、90…温度特性算出部、100…計測用電流供給部、102…ストレス用電流供給部、200, 800…スイッチング素子、300…ゲートドライブレ用電源、400…パワー回路、410…負荷抵抗410…駆動電源、T1…(+)側入力端子、T2…(-)側入力端子、T3…(+)側出力端子、T4…(-)側出力端子、T5…制御端子、 V_{DD} …電源電圧、 I_d …スイッチング電流、 V_{th} , V_{th1} , V_{th2} , V_{th3} …閾値電圧、 V_{th0} …初期閾値電圧、 V_{th4} …温度特性測定時閾値電圧、 T , T_1 , T_2 …スイッチング素子の動作温度、 T_0 …初期動作温度、SW1、SW2、SW3…スイッチ

請求の範囲

- [請求項1] 第1電極、第2電極及び第3電極を有するスイッチング素子のオン／オフ動作を制御する制御モードと、ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧と前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて ΔV_{gs} を算出し、前記 ΔV_{gs} を含む情報に基づいてデバイスの劣化を判定する劣化判定モードとを切り替えて実施するように構成されていることを特徴とするパワーモジュール。
- [請求項2] 前記スイッチング素子と、
前記劣化判定モードにおいて閾値電圧を測定する際には、第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、前記制御モードにおいては、前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御するために前記第3電極電圧を制御する第3電極電圧制御部と、
前記劣化判定モードにおいて、前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定するオン／オフ状態判定部と、
前記スイッチング素子の初期 ΔV_{gs} を記憶し、かつ、前記劣化判定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったと判定されたときに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を閾値電圧として記憶する記憶部と、
前記劣化判定モードにおいて、前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給する前に検出された閾値電圧と、前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて前記 ΔV_{gs} を算出し、当該 ΔV_{gs} 及び前記初期 ΔV_{gs} を含む情報に基づいて前記デバイスの劣化を判定する劣化判定部と、
前記スイッチング素子と直列に接続され、負荷抵抗及び駆動電源を有するパワー回路とを備えることを特徴とする請求項1に記載のパワーモジュール。

[請求項3] 前記パワーモジュールは、前記制御モード実施前に前記スイッチング素子の前記初期 ΔV_{gs} を検出する初期測定モードを実施するように構成されており、

前記初期測定モードにおいて、

前記第3電極電圧制御部は、閾値電圧を測定する際には、前記第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、

前記オン／オフ状態判定部は、前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定し、

前記記憶部は、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったと判定されたときに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を閾値電圧として記憶し、

前記劣化判定部は、前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給する前に検出された前記閾値電圧である初期閾値電圧と、前記ストレス用電流を前記スイッチング素子に供給した後に検出された閾値電圧とを含む情報に基づいて前記初期 ΔV_{gs} を算出することを特徴とする請求項2に記載のパワーモジュール。

[請求項4] 前記第3電極電圧制御部は、前記制御モードにおいて、前記スイッチング素子をオン状態とするときに、前記初期測定モードで測定された前記初期閾値電圧を含む情報に基づいて前記第3電極電圧を制御することを特徴とする請求項3に記載のパワーモジュール。

[請求項5] 前記スイッチング素子の動作温度を検出する温度検出部をさらに備え、

前記記憶部は、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報、及び、前記スイッチング素子の初期動作温度を含む情報をさらに記憶し、

前記劣化判定部は、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報、並びに、前記初期 ΔV_{gs} 、前記劣化判定モードにおいて検出された前記 ΔV_{gs} 、前記初期動作温度、及び、前記劣

化判定モードにおいて前記温度検出部で検出された前記スイッチング素子の動作温度を含む情報に基づいて前記デバイスの劣化を判定することを特徴とする請求項2～4のいずれかに記載のパワーモジュール。

[請求項6] 前記温度検出部によって検出された前記スイッチング素子の前記動作温度と、前記初期閾値電圧、及び、前記スイッチング素子の前記初期動作温度とを含む情報、並びに、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性に関する情報に基づいて前記スイッチング素子の動作時の閾値電圧を算出する閾値電圧算出部をさらに備え、

前記第3電極電圧制御部は、前記制御モードにおいて、前記スイッチング素子をオン状態とするときに、前記閾値電圧算出部によって算出された前記動作時の閾値電圧に基づいて前記第3電極電圧を制御することを特徴とする請求項5に記載のパワーモジュール。

[請求項7] 前記パワーモジュールは、前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性を測定する温度特性測定モードをさらに実施するパワーモジュールであって、

前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性を算出する温度特性算出部をさらに備え、

前記温度特性測定モードにおいて、

前記第3電極電圧制御部は、前記第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、

前記オン／オフ状態判定部は、前記スイッチング素子がオンしたか否かを判定し、

前記記憶部は、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったことを判定したときに、前記スイッチング素子の前記動作温度を記憶するとともに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を前記スイッチング素子の温度特性測定時閾値電圧として記憶し、

前記温度特性算出部は、前記初期閾値電圧、前記初期閾値電圧を測定したときの前記スイッチング素子の前記初期動作温度、前記温度特性測定モードにおいて前記温度検出部によって検出された前記スイッチング素子の前記動作温度、及び、前記温度特性測定時閾値電圧を含む情報に基づいて前記スイッチング素子における閾値電圧の温度特性を算出することを特徴とする請求項5又は6に記載のパワーモジュール。

[請求項8] 前記スイッチング素子を流れる第1電極電流を検出する第1電極電流検出部をさらに備え、

前記劣化判定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部は、前記第1電極電流検出部による前記第1電極電流の検出結果に基づいて前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定することを特徴とする請求項2～7のいずれかに記載のパワーモジュール。

[請求項9] 前記劣化判定部による前記デバイスの劣化の検出結果を外部に表示するアラーム部をさらに備えることを特徴とする請求項2～8のいずれかに記載のパワーモジュール。

[請求項10] 前記劣化判定モードにおいて前記スイッチング素子に前記ストレス用電流を供給するストレス用電流供給部をさらに備えることを特徴とする請求項2～9のいずれかに記載のパワーモジュール。

[請求項11] 前記パワー回路においては、供給する電力が一定であり、
前記劣化判定モードにおいて、前記ストレス用電流は、前記駆動電源から流れる電流から供給されることを特徴とする請求項2～9のいずれかに記載のパワーモジュール。

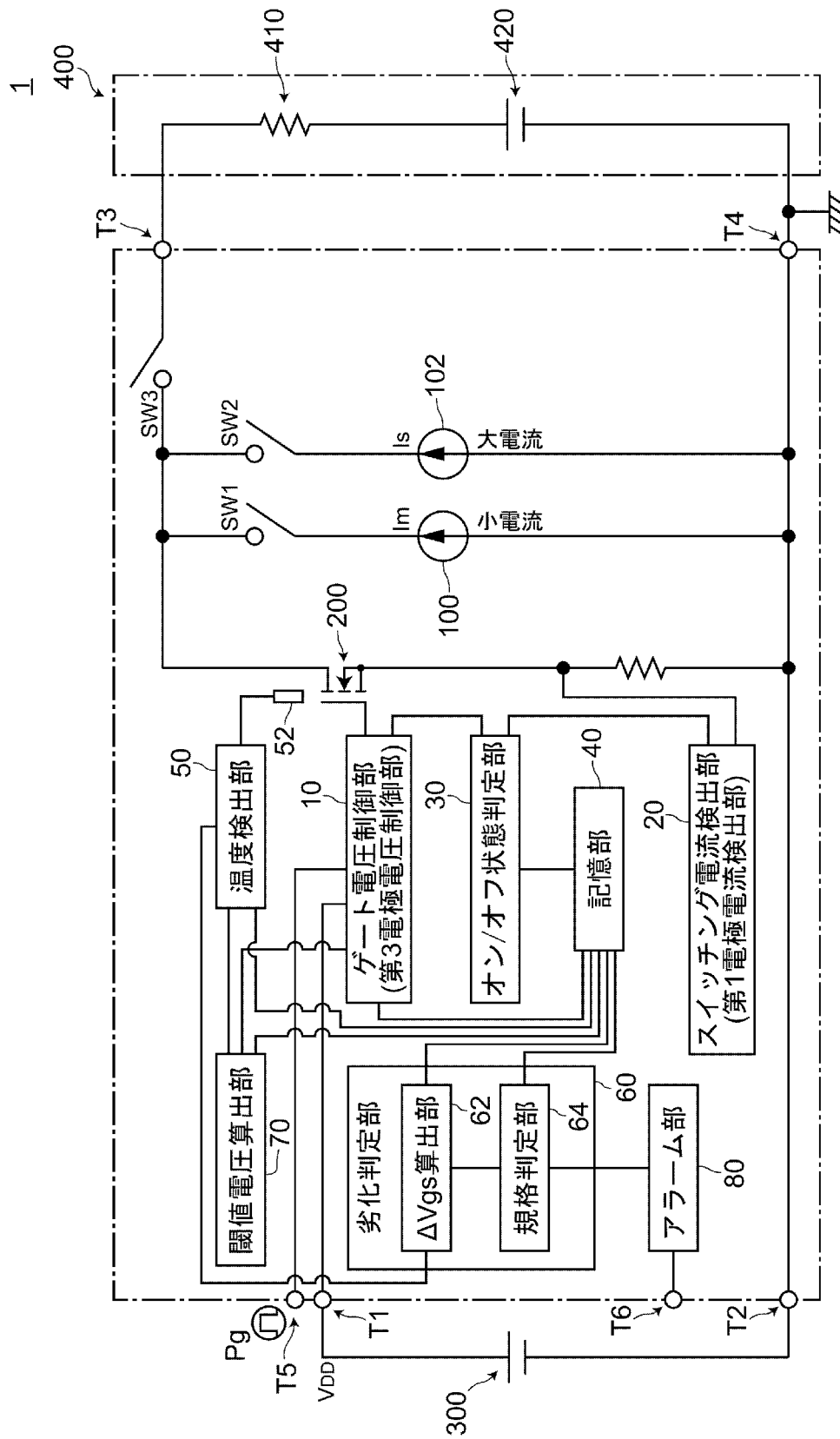
[請求項12] 前記第3電極電圧制御部は、前記スイッチング素子の閾値電圧を検出する場合には、前記第3電極電圧が時間経過に伴って階段状に高くなるように前記第3電極電圧を制御することを特徴とする請求項2～11のいずれかに記載のパワーモジュール。

[請求項13] 前記第3電極電圧制御部は、前記スイッチング素子の閾値電圧を検

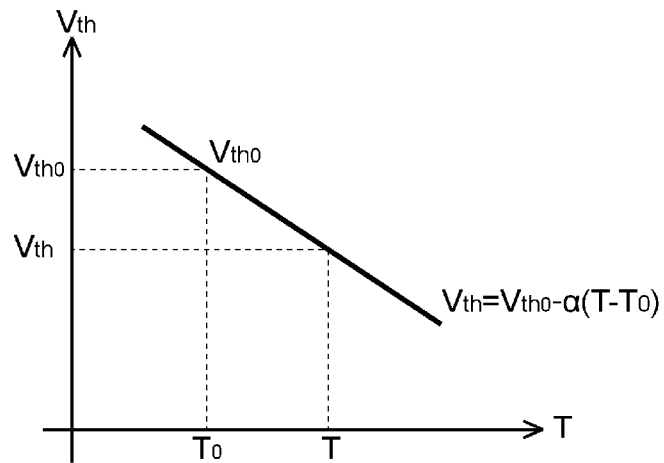
出する場合には、前記第3電極電圧が、時間経過に伴って振幅の大きなパルスとなるパルス状の電圧になるように、前記第3電極電圧を制御することを特徴とする請求項2～11のいずれかに記載のパワーモジュール。

[請求項14] 前記スイッチング素子は、Ga₂N、SiC又はGa₂O₃を含む材料により形成されたものであることを特徴とする請求項1～13のいずれかに記載のパワーモジュール。

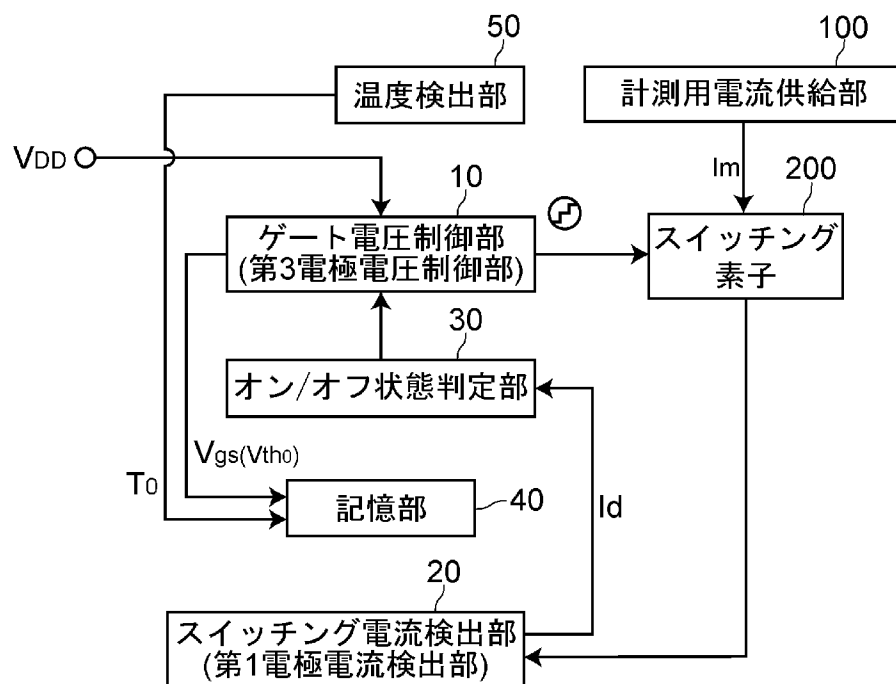
[図1]



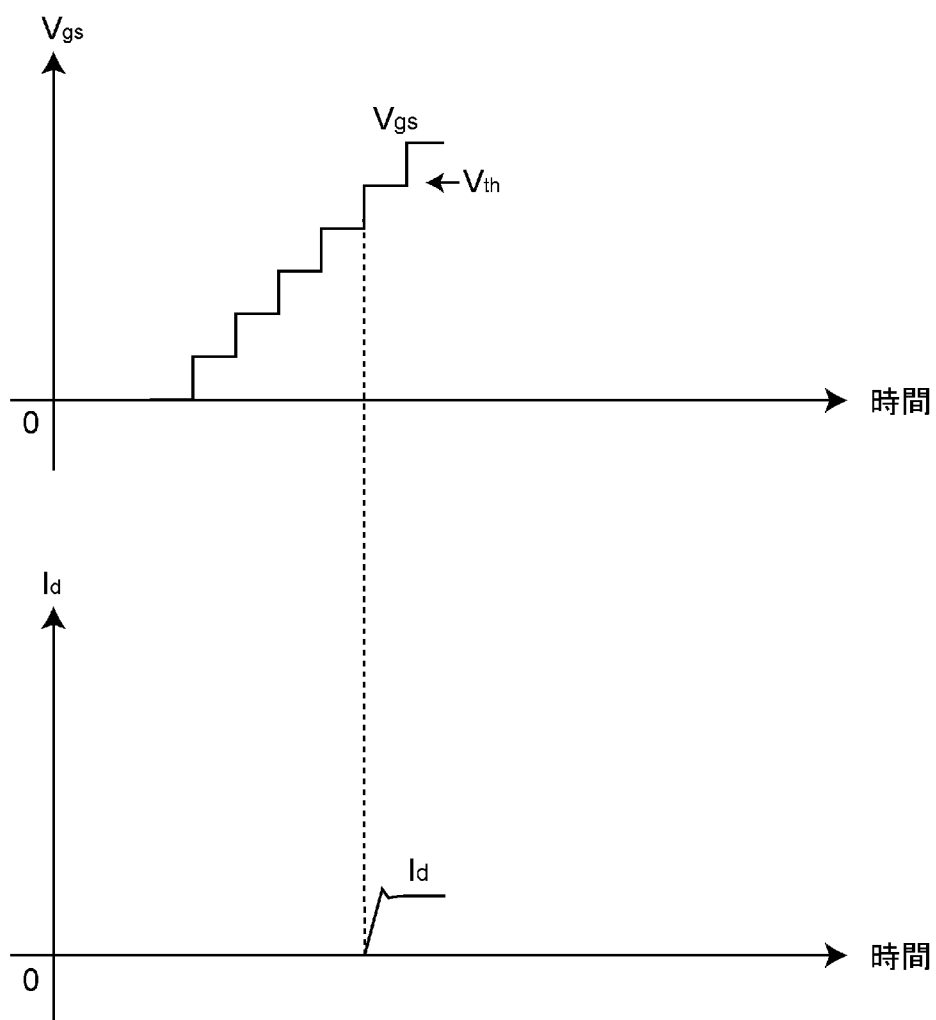
[図2]



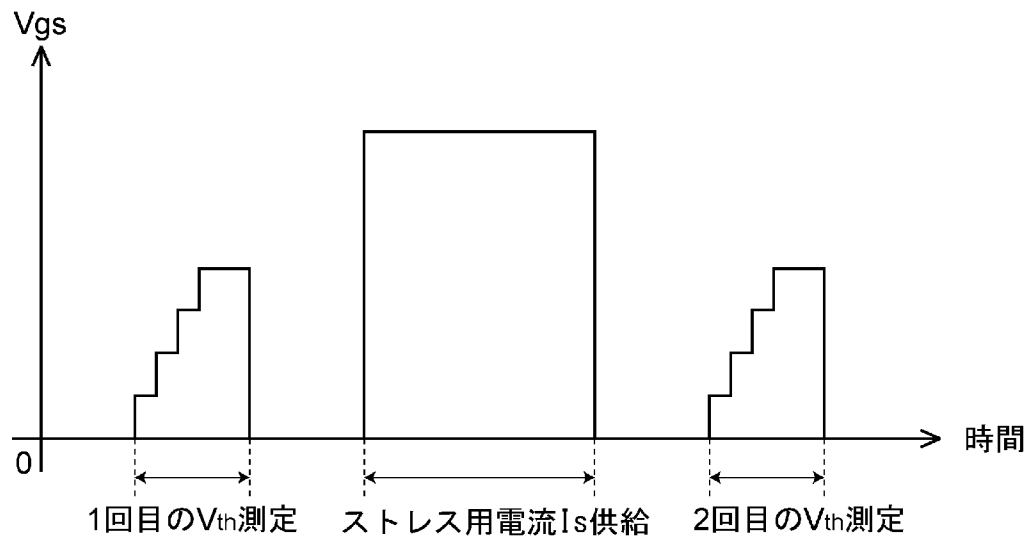
[図3]



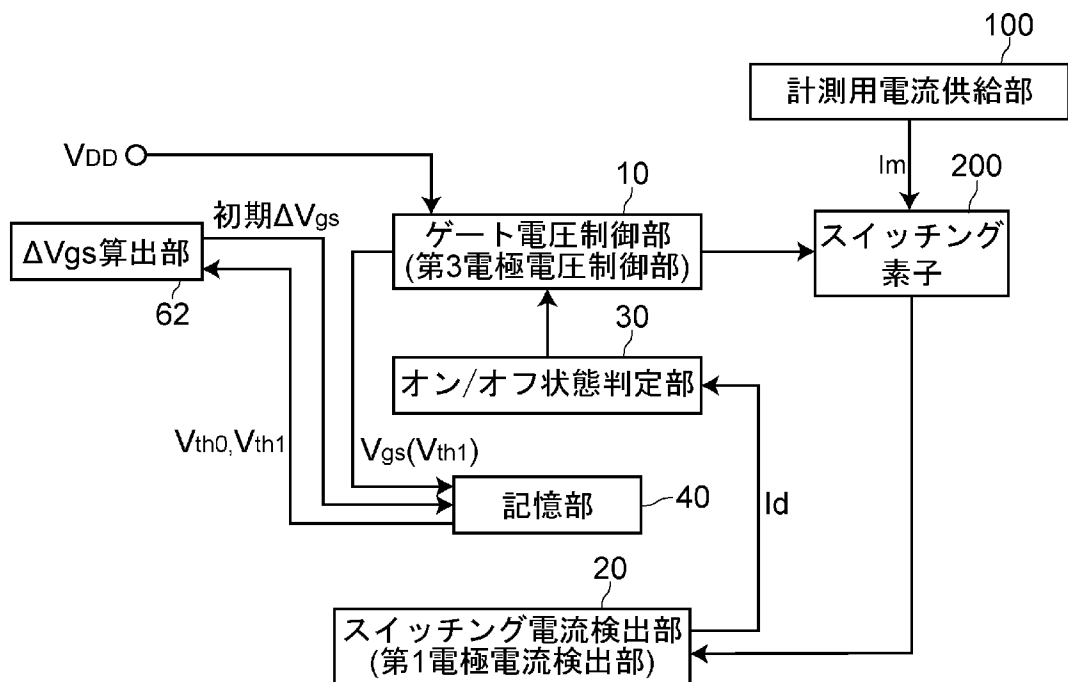
[図4]



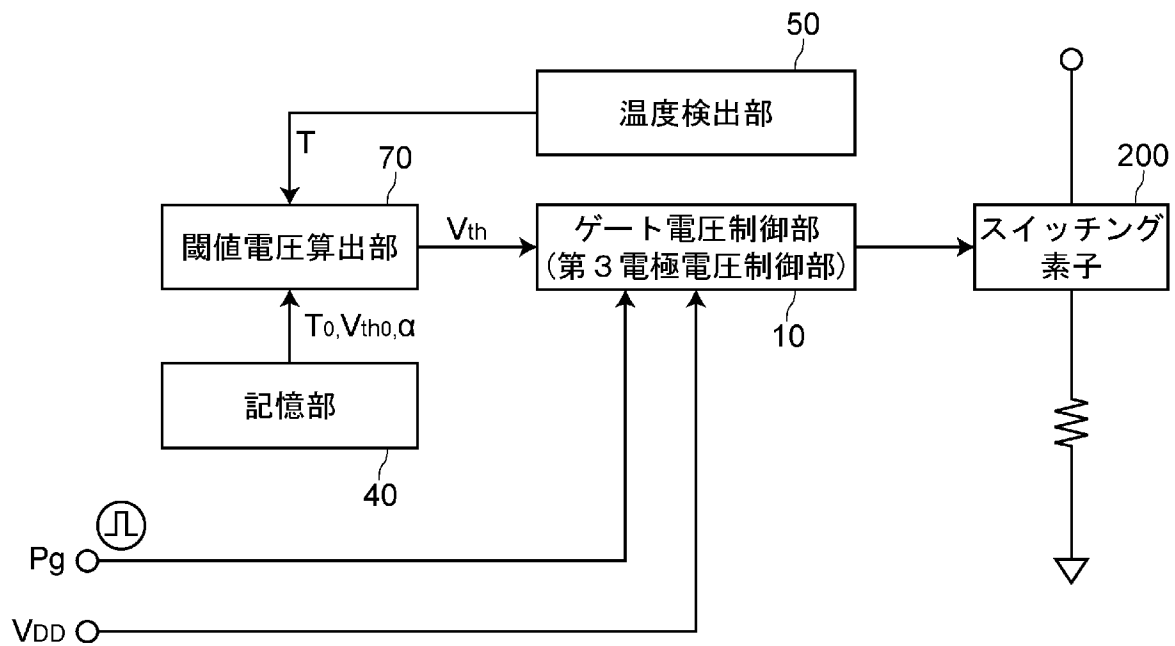
[図5]



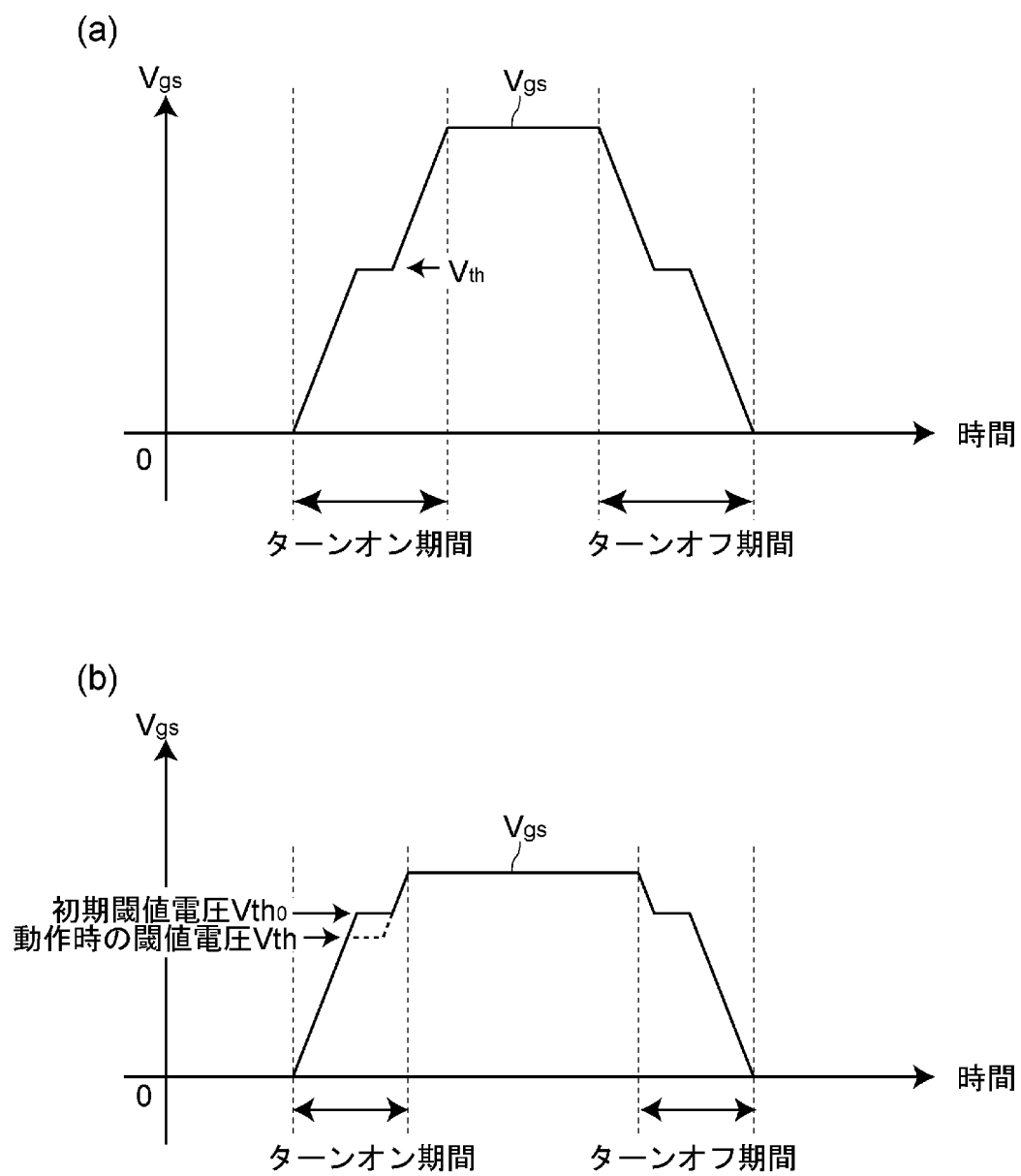
[図6]



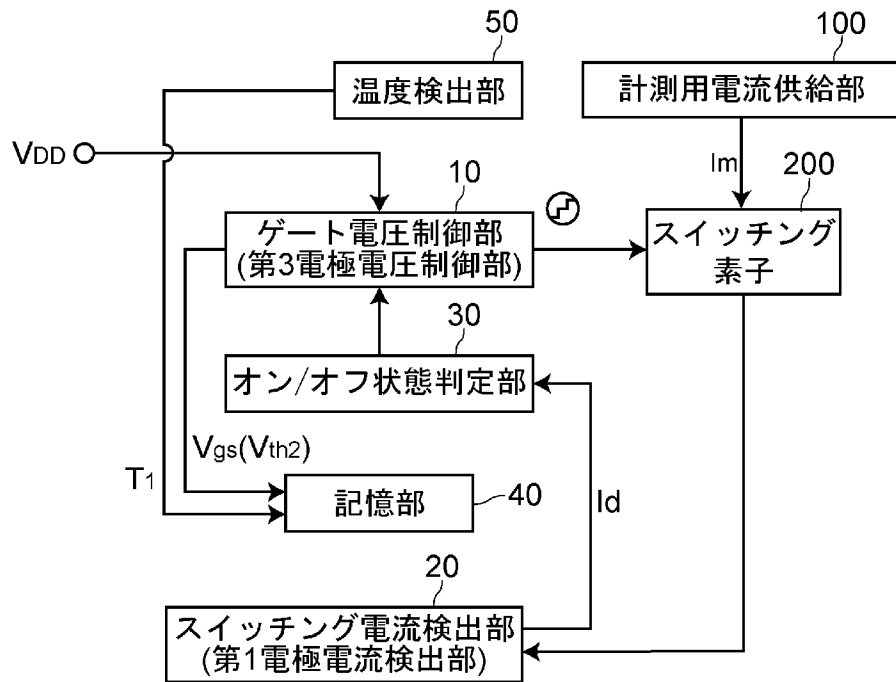
[図7]



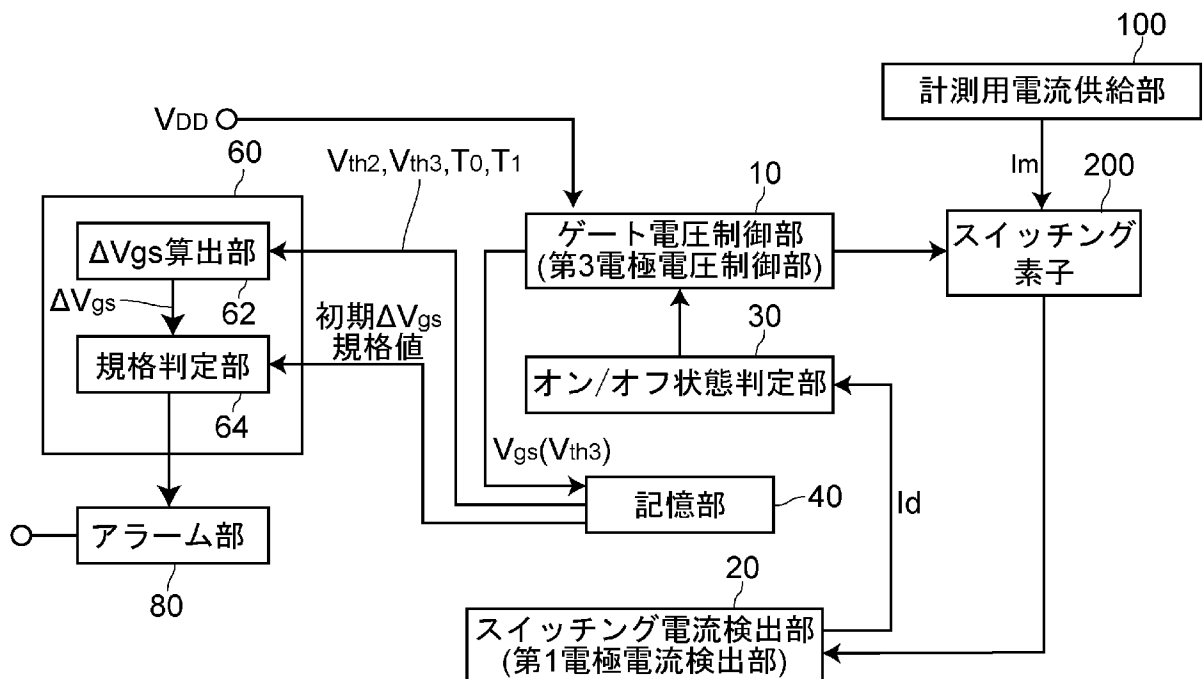
[図8]



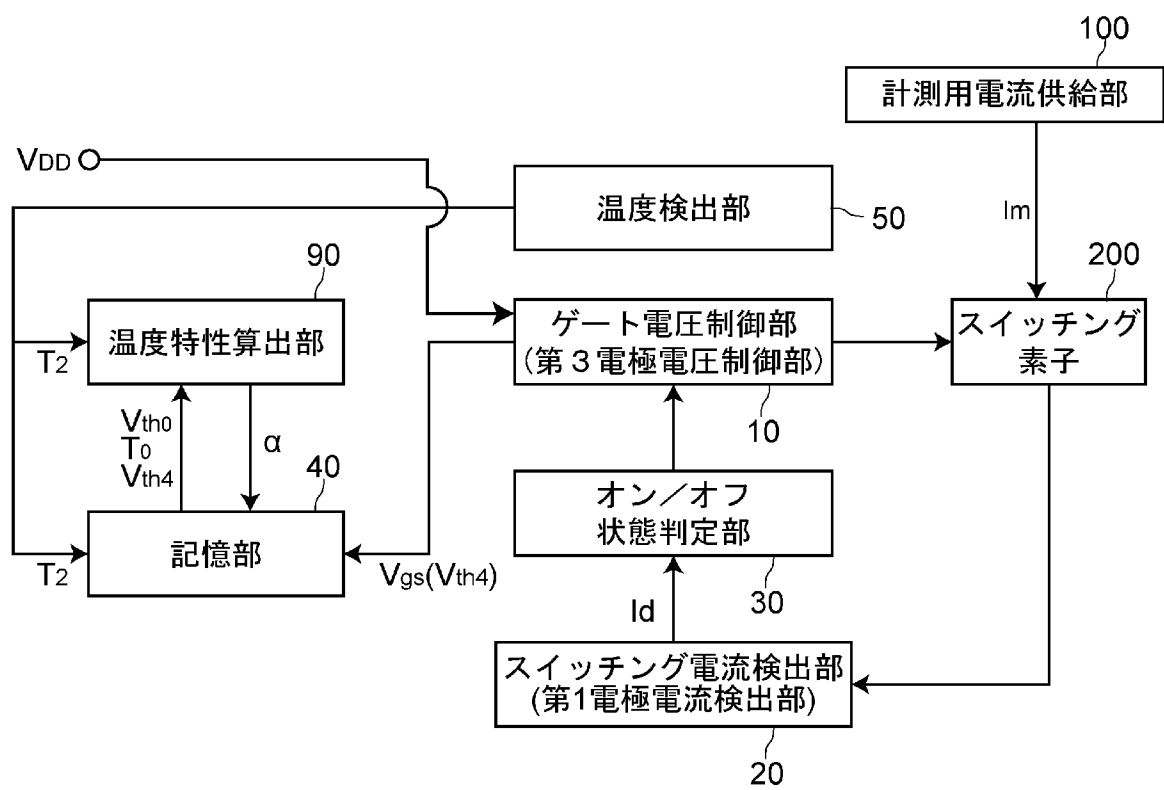
[図9]



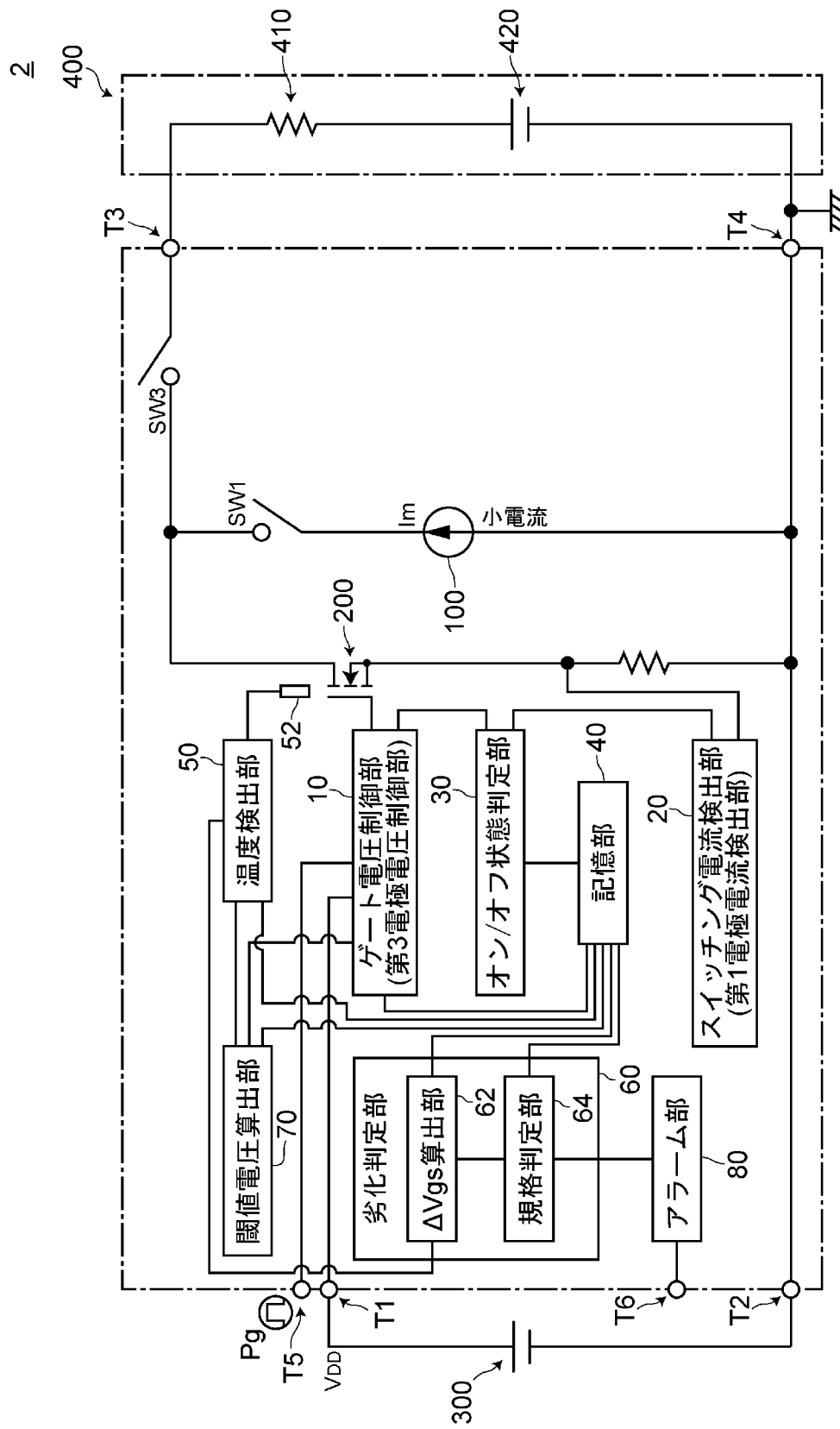
[図10]



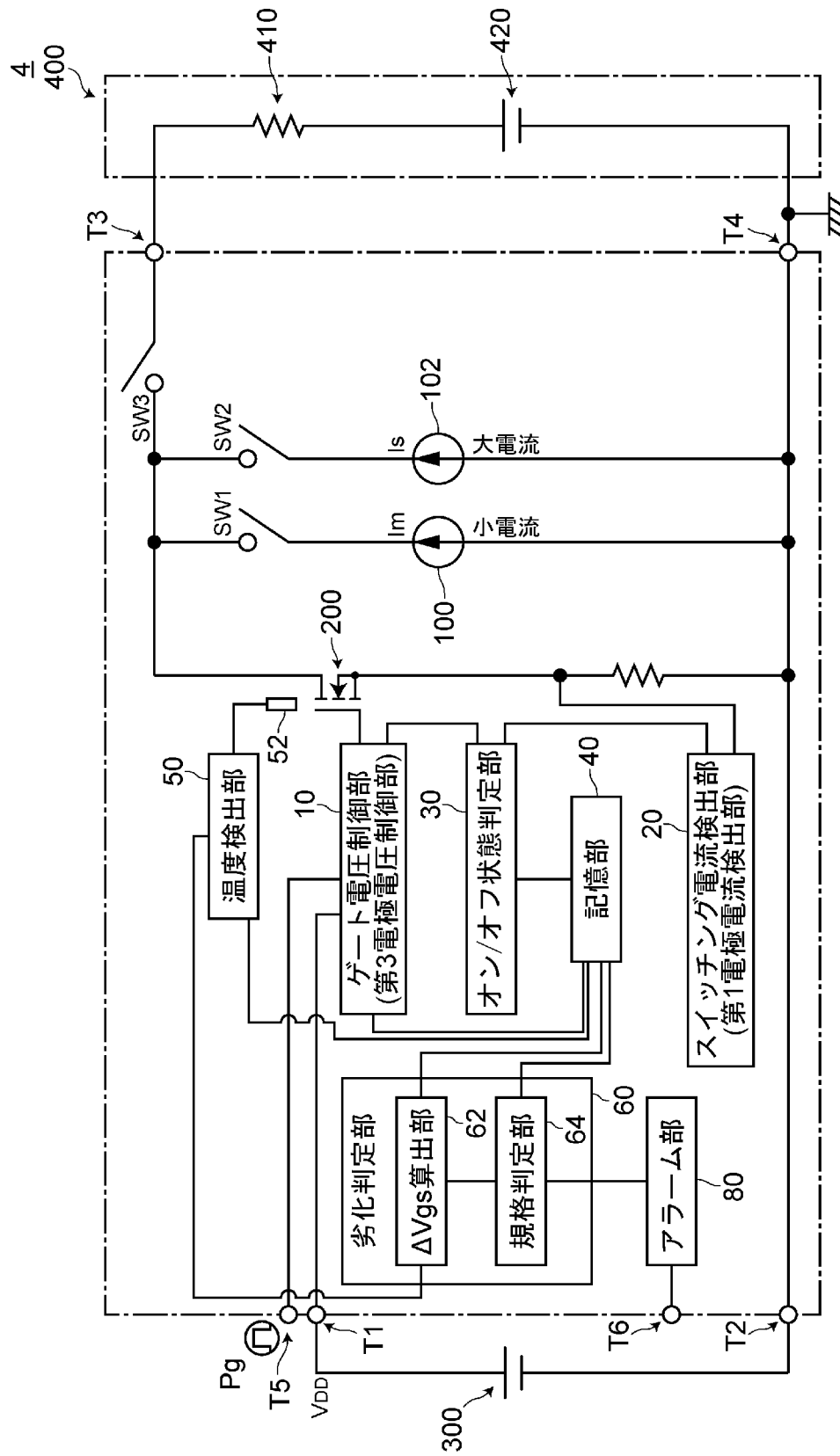
[図11]



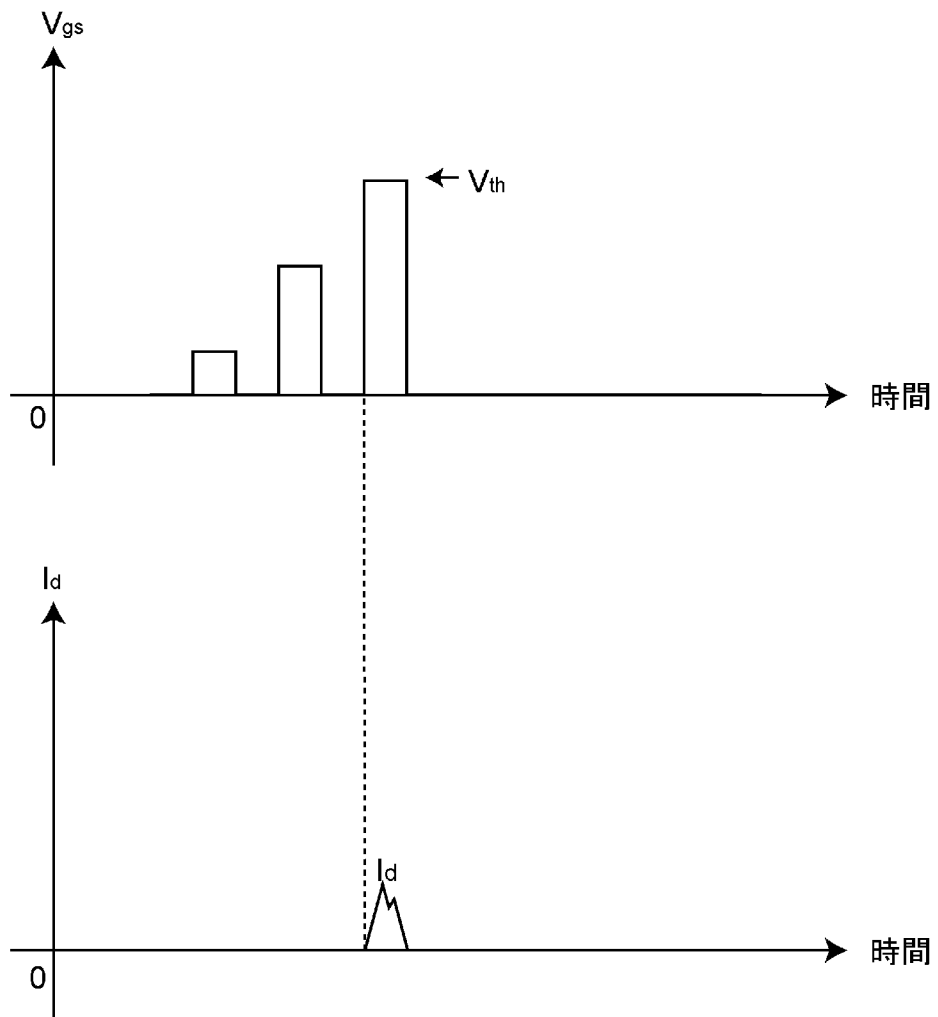
[図12]



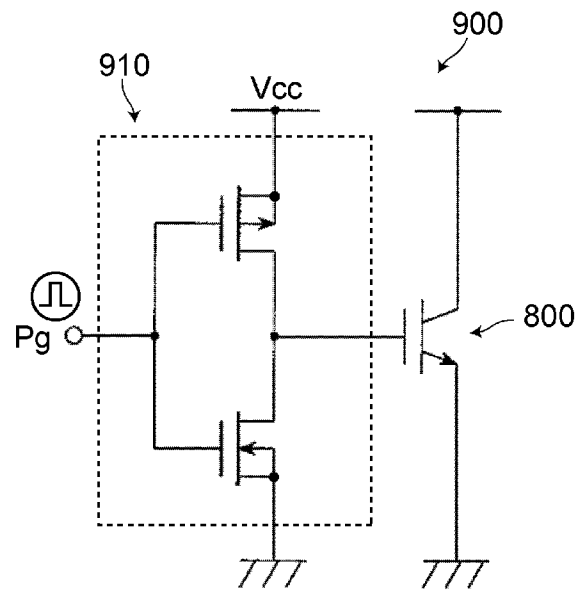
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/046185

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02M1/08 (2006.01) i, G01R31/00 (2006.01) i, G01R31/26 (2014.01) 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)

Int.Cl. H02M1/08, G01R31/00, G01R31/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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.
A	JP 2016-5289 A (HITACHI, LTD.) 12 January 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-14
A	JP 2011-200033 A (TOSHIBA ELEVATOR CO., LTD.) 06 October 2011, entire text, all drawings & CN 102190218 A	1-14
A	JP 2008-209382 A (TDK CORPORATION) 11 September 2008, entire text, all drawings & US 2008/0180313 A1, entire text, all drawings & EP 1956388 A1	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☐ See patent family annex.
---	---

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 05.02.2018	Date of mailing of the international search report 13.02.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H02M1/08(2006.01)i, G01R31/00(2006.01)i, G01R31/26(2014.01)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. H02M1/08, G01R31/00, G01R31/26

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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
A	JP 2016-5289 A（株式会社日立製作所）2016.01.12, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-14
A	JP 2011-200033 A（東芝エレベータ株式会社）2011.10.06, 全文, 全図 & CN 102190218 A	1-14
A	JP 2008-209382 A（TDK株式会社）2008.09.11, 全文, 全図 & US 2008/0180313 A1, 全文, 全図 & EP 1956388 A1	1-14

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

05.02.2018

国際調査報告の発送日

13.02.2018

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）

高野 誠治

5G

3567

電話番号 03-3581-1101 内線 3526