

(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
2011 年 7 月 21 日(21.07.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/086705 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 25/07 (2006.01) *H02M 7/04* (2006.01)
B60L 3/00 (2006.01) *H02M 7/12* (2006.01)
H01L 25/18 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/050512

(22) 国際出願日: 2010 年 1 月 18 日(18.01.2010)

(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 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (Mitsubishi Electric Corporation) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中 毅 (TANAKA, Takeshi) [—/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 中山 靖 (NAKAYAMA, Yasushi) [—/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目 2 番 5 号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 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, 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, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

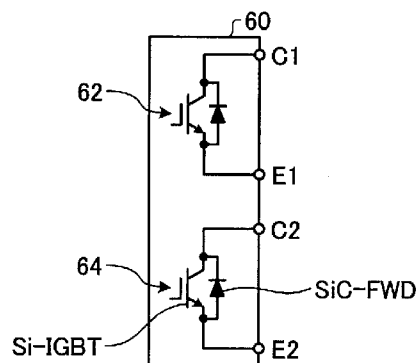
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: POWER SEMICONDUCTOR MODULE, POWER CONVERSION DEVICE, AND RAIL CAR

(54) 発明の名称: パワー半導体モジュール、電力変換装置および鉄道車両

[図3]



(57) Abstract: A power semiconductor module applied to a power conversion device for rail cars has an element pair (62) formed by connecting an IGBT and an SiC-FWD inversely in parallel with each other and another element pair (64) formed by connecting an Si-IGBT and an SiC-FWD inversely in parallel with each other. The element pairs (62, 64) are housed in one module so that the element pair (62) operates as a positive arm of the power conversion device and the element pair (64) operates as a negative arm of the power conversion device, thereby constituting a two-in-one module. In addition, the element pairs (62, 64) are formed such that the ratio of the occupied area of the SiC-FWD chip to the occupied area of the IGBT chip is 15 % or more and less than 45 %.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/086705 A1



鉄道車両用の電力変換装置に適用されるパワー半導体モジュールにおいて、 $I G B T$ と $S i C-F W D$ とが逆並列に接続されてなる素子対62と、 $S i-I G B T$ と $S i C-F W D$ とが逆並列に接続されてなる素子対64と、を有し、素子対62は電力変換装置の正側アームとして動作し、素子対64は電力変換装置の負側アームとして動作するように1つのモジュール内に收容され、2 in 1モジュールとして構成されると共に、素子対62、64における $I G B T$ チップの占有面積に対する $S i C-F W D$ チップの占有面積の比が15%以上、且つ、45%未満であるように形成される。

明 細 書

発明の名称：

パワー半導体モジュール、電力変換装置および鉄道車両

技術分野

[0001] 本発明は、鉄道車両に適用可能な電力変換装置に係り、詳細には、この種の電力変換装置に搭載可能なパワー半導体モジュールに関する。

背景技術

[0002] 鉄道車両用に限定されるものではないが、比較的高出力な電力変換用途に適用可能なパワー半導体モジュールとして、例えば下記特許文献1に示されたものがある。この特許文献1に示されるパワー半導体モジュールでは、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と呼ばれるスイッチング素子と、フライ・ホイール・ダイオード (Fly Wheel Diode: FWD) と呼ばれるダイオード素子とが逆並列に接続されてなる素子対の組を2組有する構成が開示されている。すなわち、このパワー半導体モジュールは、いわゆる「2 in 1」のパワー半導体モジュールとして構成されている（同文献の図1～図4などを参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-59923号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記のような2 in 1タイプのパワー半導体モジュール（以下、必要に応じて「2 in 1モジュール」と称する）を構成する各1組の素子対をモジュール内で直列に接続すれば、インバータおよびコンバータにおける正側および負側の負アーム素子として使用することができる。したがって、例えば3相インバータであれば、3個の2 in 1モジュールで構成することができるので、装置の小型化が可能となる。

[0005] ところが、上記 2 i n 1 モジュールを鉄道車両用のインバータに適用する場合には、話が簡単ではなかった。というのも、パワー半導体モジュールを鉄道車両に適用した場合、車両が加速する力行モードでは主として I G B T 側に大きな電流が流れ、ブレーキによって電力を回生して減速する回生モードでは主に F W D 側に大きな電流が流れるので、力行モードでは I G B T が、回生モードでは F W D が大きく発熱する。このため、力行モードでは I G B T チップの接合温度を、回生モードでは F W D チップの接合温度を、それぞれの許容接合温度以下になるように、電流やスイッチング周波数を設定もしくは制御しなければならない。

[0006] しかしながら、現状の 2 i n 1 モジュールでは、回生モードにおける F W D チップの接合温度を許容接合温度以下になるように電流やスイッチング周波数を設定することは困難であった。ここで、I G B T チップのサイズと F W D チップのサイズとはトレードオフの関係にあるので、I G B T チップのサイズを小さくし、その削減分を F W D チップに割り当てることも考えられるが、現状の 2 i n 1 モジュールでは、I G B T のチップサイズは可能な限り小さくしており、これ以上のサイズ削減は力行モードにおける電流容量の確保が困難になるため限界であった。したがって、現状の鉄道応用における 3 相インバータでは、同電流クラスのパワー半導体モジュールとして、I G B T および F W D の組が 1 組搭載されている、いわゆる「1 i n 1」のパワー半導体モジュール（以下、必要に応じて「1 i n 1 モジュール」と称する）を 6 個用いて構成せざるを得ず、電力変換装置の更なる小型化が困難であった。

[0007] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、更なる小型化を可能とし、かつ、鉄道車両用の電力変換装置に適用可能なパワー半導体モジュールを提供することを目的とする。

[0008] また、本発明は、既存の 1 i n 1 タイプのモジュールサイズを大きくすることなくこれを互換的に利用することのできる 2 i n 1 タイプのパワー半導体モジュールを提供することを目的とする。

[0009] また、本発明は、上記のようなパワー半導体モジュールを備えた電力変換装置および、上記のような電力変換装置を備えた鉄道車両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

[0010] 上述した課題を解決し、目的を達成するため、本発明にかかるパワー半導体モジュールは、鉄道車両用の電力変換装置に適用されるパワー半導体モジュールにおいて、第1のスイッチング素子と第1のダイオード素子とが逆並列に接続されてなる第1の素子対と、第2のスイッチング素子と第2のダイオード素子とが逆並列に接続されてなる第2の素子対と、を有し、前記第1および第2のダイオード素子は、ワイドバンドギャップ半導体により形成され、前記第1の素子対は前記電力変換装置の正側アームとして動作し、前記第2の素子対は前記電力変換装置の負側アームとして動作するように1つのモジュール内に收容され、2 in 1モジュールとして構成されていることを特徴とする。

発明の効果

[0011] 本発明にかかるパワー半導体モジュールによれば、既存の1 in 1タイプのモジュールサイズを大きくすることなくこれを利用し、鉄道車両に適用可能な2 in 1タイプのパワー半導体モジュールを提供することができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0012] [図1] 図1は、本発明の実施の形態にかかる電力変換装置の概略の機能構成を示す図である。

[図2] 図2は、2 in 1モジュールとして構成した本実施の形態にかかるパワー半導体モジュールの概略形状を示す斜視図である。

[図3] 図3は、図2に示すパワー半導体モジュールが有する回路構成を概略的に示す図である。

[図4] 図4は、従来から使用されている1 in 1モジュールの概略形状を示す斜視図である。

[図5] 図5は、図4に示すパワー半導体モジュールが有する回路構成を概略的に示す図である。

[図6] 図6は、力行モード時に主として流れる主回路電流の向きを示す図である。

[図7] 図7は、回生モード時に主として流れる主回路電流の向きを示す図である。

[図8] 図8は、従来の1 in 1モジュールを6個用いて構成した3相インバータの回路図である。

[図9] 図9は、SiC-FWDを用いて構成した本実施の形態の2 in 1モジュールにおける一つの素子対の配置例を示す図である。

[図10] 図10は、Si-FWDを用いて構成した従来の2 in 1モジュールにおける一つの素子対の配置例を示す図である。

[図11] 図11は、本実施の形態の2 in 1モジュールを3個用いて構成した3相インバータの回路図である。

発明を実施するための形態

[0013] 本願発明者は、オン電圧を低減することができ、その結果、リカバリ損失も大幅に低減することができるSiCダイオードに着目し、このSiCダイオードを上記2 in 1モジュールに適用して電力変換装置を構成することにより、鉄道応用に好適なパワー半導体モジュールおよび電力変換装置を導き出すに至った。以下、添付図面を参照し、本発明の実施の形態にかかるパワー半導体モジュールおよび電力変換装置について説明する。なお、以下に示す実施の形態により本発明が限定されるものではない。

[0014] <実施の形態>

まず、本発明の実施の形態にかかる電力変換装置について説明する。図1は、本実施の形態にかかる電力変換装置の概略の機能構成を示す図であり、鉄道車両100に搭載される電力変換装置50の一構成例を示している。同図に示すように、電力変換装置50は、コンバータ10、コンデンサ20およびインバータ30を備えて構成される。鉄道車両100には、電力変換装

置 50 の入力端側に配置されてコンバータ 10 に接続される変圧器 6 および、電力変換装置 50 の出力端側に配置されてインバータ 30 に接続され、電力変換装置 50 からの電力供給を受けて車両を駆動する電動機 40 が搭載されている。なお、電動機 40 としては、誘導電動機や同期電動機が好適である。

[0015] 変圧器 6 の一次巻線の一端は集電装置 2 を介して架線 1 に接続され、他端は車輪 3 を介して大地電位であるレール 4 に接続されている。架線 1 から供給される電力は、集電装置 2 を介して変圧器 6 の一次巻線に入力されるとともに、変圧器 6 の二次巻線に生じた電力がコンバータ 10 に入力される。

[0016] コンバータ 10 は、スイッチング素子 U P C, V P C で構成される正側アーム（例えば U 相では U P C）と、スイッチング素子 U N C, V N C で構成される負側アーム（例えば U 相では U N C）とがそれぞれ直列に接続された回路部（以下「レグ」という）を有している。すなわち、コンバータ 10 には、2 組（U 相分、V 相分）のレグを有する単相ブリッジ回路が構成されている。

[0017] コンバータ 10 は、スイッチング素子 U P C, V P C, U N C, V N C を PWM 制御することで入力された交流電圧を所望の直流電圧に変換して出力する。

[0018] コンバータ 10 の出力端には、直流電源となるコンデンサ 20 が並列に接続されるとともに、コンデンサ 20 の直流電圧を入力とし、任意電圧および任意周波数の交流電圧に変換し出力するインバータ 30 が接続される。

[0019] インバータ 30 は、スイッチング素子 U P I, V P I, W P I で構成される正側アーム（例えば U 相では U P I）と、スイッチング素子 U N I, V N I, W N I で構成される負側アーム（例えば U 相では U N I）とがそれぞれ直列に接続されたレグを有している。すなわち、インバータ 30 には、3 組（U 相分、V 相分、W 相分）のレグを有する 3 相ブリッジ回路が構成されている。

[0020] インバータ 30 は、スイッチング素子 U P I, V P I, W P I, U N I,

VNI, WNIをPWM制御することで入力された直流電圧を所望の交流電圧に変換して出力する。

[0021] なお、図1では、本実施の形態にかかる電力変換装置の好適な例として、交流入力の電気車に適用する場合を一例として示したが、地下鉄や郊外電気車等に多用される直流入力の電気車に対しても同様に適用することができる。なお、直流入力の電気車に適用する場合、変圧器6およびコンバータ10の構成が不要となる点を除き、図1と同等の構成を採ることができ、本実施の形態にかかる内容を当該直流入力の電気車に適用することも無論可能である。

[0022] つぎに、本実施の形態の電力変換装置に用いられるパワー半導体モジュールについて説明する。図2は、2in1モジュールとして構成した本実施の形態にかかるパワー半導体モジュールの概略形状を示す斜視図であり、図3は、図2に示すパワー半導体モジュールが有する回路構成を概略的に示す図である。また、図4は、比較例として示すパワー半導体モジュールであり、従来から使用されている1in1モジュールの概略形状を示す斜視図である。また、図5は、図4に示すパワー半導体モジュールが有する回路構成を概略的に示す図である。

[0023] 図4および図5に示すように、従来から使用されてきている1in1モジュール70では、シリコンをベースとするIGBT(Si-IGBT)と、シリコンベースのFWD(Si-FWD)とが逆並列に接続された1組の素子対72がパッケージ内に収容されている。Si-IGBTのコレクタとSi-FWDのカソードとはモジュール内で接続され、その接続端は引き出されて1in1モジュール70の上面に設けられたコレクタ電極Cに接続される。同様に、Si-IGBTのエミッタとSi-FWDのアノードとはモジュール内で接続され、その接続端は引き出されて1in1モジュール70の上面に設けられたエミッタ電極Eに接続されるように構成されている。

[0024] 一方、図2および図3に示すように、本実施の形態にかかる2in1モジュール60では、シリコン(Si)をベースとするIGBT(Si-IGBT

T) と、シリコン・カーバイド（炭化ケイ素：S i C）をベースとする F W D（S i C－F W D）とが逆並列に接続された 2 組の素子対である第 1 の素子対 6 2、第 2 の素子対 6 4 がパッケージ内に収容されている。

[0025] ここで、シリコン・カーバイド（S i C）は、ワイドバンドギャップ半導体と称される半導体の一例であり、シリコン・カーバイド以外にも、例えば窒化ガリウム系材料または、ダイヤモンドを用いて形成される半導体も、ワイドバンドギャップ半導体に属する。したがって、シリコン・カーバイド以外の他のワイドバンドギャップ半導体を用いる構成も、本発明の要旨を成すものである。

[0026] これら図 2 および図 3 において、第 1 の素子対 6 2 では、S i－I G B T のコレクタと S i C－F W D のカソードとがモジュール内で接続され、その接続端は引き出されて 2 i n 1 モジュール 6 0 の上面に設けられたコレクタ電極 C 1 に接続されると共に、S i－I G B T のエミッタと S i C－F W D のアノードとがモジュール内で接続され、その接続端は引き出されて 2 i n 1 モジュール 6 0 の上面に設けられたエミッタ電極 E 1 に接続されるように構成されている。同様に、第 2 の素子対 6 4 では、S i－I G B T のコレクタと S i C－F W D のカソードとがモジュール内で接続され、その接続端は引き出されて 2 i n 1 モジュール 6 0 の上面に設けられたコレクタ電極 C 2 に接続されると共に、S i－I G B T のエミッタと S i C－F W D のアノードとがモジュール内で接続され、その接続端は引き出されて 2 i n 1 モジュール 6 0 の上面に設けられたエミッタ電極 E 2 に接続されるように構成されている。

[0027] なお、図 2 の構造および図 3 の回路構成から明らかなように、2 i n 1 モジュール 6 0 における電極 E 1 と電極 C 2 とを、導体バーなどで電氣的に接続すれば第 1 の素子対 6 2 と第 2 の素子対 6 4 とが直列接続されたレグを構成することができる。

[0028] つぎに、本実施の形態のパワー半導体モジュールが、既存の 1 i n 1 モジュールのパッケージを互換的に使用し、既存の 1 i n 1 モジュールのサイズ

を大きくすることなく 2 in 1 モジュールとして構成できる理由について説明する。

[0029] 車両が加速走行する力行モードでは、コンデンサ 20 の正極側から電動機 40 に向けて電流が流れるため、例えば U 相および V 相への印加電圧が正の期間であり、W 相の印加電圧が負の期間では、図 6 に示すように、スイッチング素子 UPI, VPI の各 IGBT を通じて電動機 40 に電流が流れ込み、電動機 40 からの電流はスイッチング素子 WNI の IGBT を通じてコンデンサ 20 の負極側に戻る。その結果、力行モード時には、FWD に比して IGBT が大きく発熱することになる。

[0030] 一方、車両が減速走行する回生モードでは、電動機 40 が発電機となり、電動機 40 からの電流がコンデンサ 20 の正極側に流れ込むため、例えば電動機 40 における U 相および V 相の誘起電圧が正の期間であり、W 相の誘起電圧が負の期間では、図 7 に示すように、スイッチング素子 UPI, VPI の各 FWD を通じてコンデンサ 20 側に電流が流れ込み、その戻り電流はスイッチング素子 WNI の FWD を通じて電動機 40 に戻る。その結果、回生モード時には、IGBT に比して FWD が大きく発熱することになる。

[0031] つぎに、汎用的な 2 in 1 モジュールの発熱量について、下記表 1 に示すパラメータを用いて計算する。なお、ここで用いる 2 in 1 モジュールは、シリコンベースの IGBT (Si-IGBT) と、シリコンベースの FWD (Si-FWD) とにより構成されるものである。

[0032]

[表1]

表1 2in1モジュール(Si-FWD)のパラメータ

(定格電圧:1700V,定格電流:1200A)

IGBT	600A通電時のオン電圧	1.65V
	600A通電時のスイッチング損失 (1パルスあたりの損失)	0.32J/P
	接合部-ケース間の熱抵抗	0.019K/W
Si-FWD	600A通電時のオン電圧	2.1V
	600A通電時のスイッチング損失 (1パルスあたりの損失)	0.17J/P
	接合部-ケース間の熱抵抗	0.042K/W

[0033] 上記表1のパラメータを用い、さらに、インバータ電流を定格電流の1/2(600A)とし、インバータ制御のキャリア周波数を1kHzとして発熱量を計算したときの結果を示したものが下記表2である。なお、簡易な計算結果を得るため、力率やインバータ効率などは考慮していない。

[0034] [表2]

表2 表1のサンプルによる温度上昇(計算結果)

IGBT	オン損失	495W	$600A \times 1.65V \div 2 = 495W$ (1個のIGBTに半周期分の電流が流れるとして算出)
	スイッチング損失	160W	$0.32J \times 1000Hz \div 2 = 160W$
	温度上昇	12.5°C	$(495W + 160W) \times 0.019K/W = 12.5^\circ C$
Si-FWD	オン損失	630W	$600A \times 2.1V \div 2 = 630W$ (1個のIGBTに半周期分の電流が流れるとして算出)
	スイッチング損失	85W	$0.17J \times 1000Hz \div 2 = 85W$
	温度上昇	30°C	$(630W + 85W) \times 0.042K/W = 30^\circ C$

[0035] 上記表2において、IGBTおよびFWDの各オン損失は、1個のIGBTに半周期分の電流が流れる、すなわち1個のIGBTおよびFWDは1周期のうちの半周期の間だけ動作すると仮定するため、電圧と電流との積を2

で割っている。また、IGBTおよびFWDの各スイッチング損失についても同様であり、パルス数（スイッチング周波数）を2で割っている。

[0036] 上記表2の結果に示されるように、IGBTの温度上昇が 12.5°C であるのに対し、FWDの温度上昇は 30°C になっており、FWDの温度上昇が高いことが理解できる。

[0037] ここでIGBTの接合温度を許容接合温度以下となるよう、モジュールのケース温度を 110°C となるように冷却器を選定した場合を考える。この場合、FWDの接合温度は $110^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} = 140^{\circ}\text{C}$ となり、FWDの許容接合温度 125°C を上回る。したがって、上記表1に示した2in1モジュールは鉄道車両用として使用できないということになる。

[0038] この考えとは逆に、FWDの温度上昇に合わせた冷却器を選定した場合を考える。この場合、モジュールのケース温度は $125^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 90^{\circ}\text{C}$ 以下とする必要がある。例えばモジュールのケース温度を 90°C とした場合、IGBTの接合温度は $90^{\circ}\text{C} + 12.5^{\circ}\text{C} = 102.5^{\circ}\text{C}$ となり、 $125^{\circ}\text{C} / 102.5^{\circ}\text{C} = 1.22$ であることから、FWDの温度上昇に合わせた場合の冷却器は、IGBTの温度上昇に合わせた場合の冷却器に対して20%以上の余裕度を持っていることになる。すなわち、FWDの温度上昇に合わせた冷却器を構成しようとすると、より高性能な冷却器が必要となるので、冷却器のサイズが増大し、冷却器のコストが増加する。

[0039] つぎに、汎用的な1in1モジュールの発熱量について、下記表3に示すパラメータを用いて計算する。なお、ここで用いる1in1モジュールは、シリコンベースのIGBT（Si-IGBT）と、シリコンベースのFWD（Si-FWD）とにより構成されるものである。また、この1in1モジュールは、2in1モジュールに比べてスペース的に余裕があるので、表1に示すFWDよりもダイオード損失が小さく、熱抵抗も小さいものを収容することが可能となっている。

[0040]

[表3]

表3 1in1モジュール(Si-FWD)のパラメータ

(定格電圧:1700V,定格電流:1200A)

IGBT	600A通電時のオン電圧	1.95V
	600A通電時のスイッチング損失 (1パルスあたりの損失)	0.41J/P
	接合部-ケース間の熱抵抗	0.012K/W
Si-FWD	600A通電時のオン電圧	1.75V
	600A通電時のスイッチング損失 (1パルスあたりの損失)	0.12J/P
	接合部-ケース間の熱抵抗	0.02K/W

[0041] 表1の場合と同様に、表3のパラメータを用い、さらに、インバータ電流を定格電流の1/2(600A)とし、インバータ制御のキャリア周波数を1kHzとして発熱量を計算したときの結果を示したものが下記表4である。なお、簡易な計算結果を得るため、力率やインバータ効率などを考慮していない点は、表2のときと同様である。

[0042] [表4]

表4 表3のサンプルによる温度上昇(計算結果)

IGBT	オン損失	585W	$600A \times 1.95V \div 2 = 585W$ (1個のIGBTに半周期分の電流が流れるとして算出)
	スイッチング損失	205W	$0.41J \times 1000Hz \div 2 = 205W$
	温度上昇	9.5°C	$(585W + 205W) \times 0.012K/W = 9.5°C$
Si-FWD	オン損失	525W	$600A \times 1.75V \div 2 = 525W$ (1個のIGBTに半周期分の電流が流れるとして算出)
	スイッチング損失	60W	$0.12J \times 1000Hz \div 2 = 60W$
	温度上昇	11.7°C	$(525W + 60W) \times 0.02K/W = 11.7°C$

[0043] 上記表4の結果に示されるように、IGBTの温度上昇は9.5°Cであり、FWDの温度上昇は11.7°Cであるため、IGBTおよびFWDの各温度上昇には大きな差がないことが分かる。

[0044] ここで、例えばモジュールのケース温度を 110°C となるように冷却器を選定した場合を考える。この場合、FWDの接合温度は $110^{\circ}\text{C} + 11.7^{\circ}\text{C} = 121.7^{\circ}\text{C}$ となり、FWDの許容接合温度 125°C を下回る。したがって、上記表3に示した1 in 1モジュールは鉄道車両用としての使用が可能となる。

[0045] このように、力行モードと回生モードとがある鉄道応用においては、従来の2 in 1モジュールは、FWDの温度上昇がIGBTの温度上昇に対して2倍程度の大きさを有しているため、冷却器をIGBTの温度上昇に合わせた冷却性能とすると、FWDの温度上昇が許容値を超えて使用不可となる。これとは逆に、冷却器をFWDの温度上昇に合わせた冷却性能とすると、冷却器のサイズが大きくなり、且つ、高価になってしまう。このため、鉄道車両に適用される従来の電力変換装置では、冷却器のサイズが増大し、冷却器のコストが増加することを防止するため、FWD損失が小さく、熱抵抗も小さい1 in 1モジュールを6個用いて3相インバータを構成していた（図8参照）。

[0046] つぎに、本実施の形態の2 in 1モジュールにおけるチップ配置（レイアウト）について説明する。図9は、SiC-FWDを用いて構成した本実施の形態の2 in 1モジュールにおける一つの素子対の配置例を示す図である。なお、図10には、比較例として、Si-FWDを用いて構成した従来の2 in 1モジュールにおける一つの素子対の配置例を示している。

[0047] 従来の2 in 1モジュールでは、図10に示すように、1素子対あたり4個のIGBTチップと、2個のSi-FWDチップを用いて構成していた。なお、図10において、Si-FWDチップの占有面積は、IGBTチップの占有面積の約 $1/2$ （50%）である。

[0048] 一方、本実施の形態の2 in 1モジュールでは、FWDとしてSiCを用いることとしたので、SiC-FWDチップの占有面積を従来のものよりも小さくすることが可能となる。例えば、図9に示すように、1素子対あたり4個のIGBTチップと、8個のSiC-FWDチップを有する構成ではあ

るが、SiC-FWDチップの占有面積は、IGBTチップの占有面積の約 $1/4$ (25%) である。

[0049] SiCをFWDとして用いた場合には、FWDのオン電圧を低減することができるので、リカバリ損失も大幅に低減することができる。SiCの場合、さらにチップ厚も薄くすることができるので、熱抵抗も小さくなる。このため、図9に示すように、各チップのレイアウトを変更することなく、FWDの温度上昇を1in1タイプのIGBTモジュールなみに抑制することができる。つまり、SiCをFWDとした場合、IGBTチップの占有面積に対するSiC-FWDチップの占有面積の比（以下「FWDチップ占有面積比」と称する）が $1/2$ 未満であっても、1in1タイプなみの温度上昇に抑えることが可能となる。

[0050] 実際に、FWDチップをSiCとした2in1モジュールの発熱量について、下記表5に示すパラメータを用いて計算した結果を示すと表6のようになる。なお、本計算では、上記表2、4と同様に、力率やインバータ効率などは考慮せず、インバータ電流を定格電流の $1/2$ (600A) とし、インバータ制御のキャリア周波数を1kHzとして計算している。

[0051] [表5]

表5 2in1モジュール(SiC-FWD)のパラメータ
(定格電圧:1700V,定格電流:1200A)

IGBT	600A通電時のオン電圧	1.65V
	600A通電時のスイッチング損失 (1パルスあたりの損失)	0.32J/P
	接合部-ケース間の熱抵抗	0.019K/W
SiC-FWD	600A通電時のオン電圧	1.3V
	600A通電時のスイッチング損失 (1パルスあたりの損失)	0.003J/P
	接合部-ケース間の熱抵抗	0.035K/W

[0052]

[表6]

表6 表5のサンプルによる温度上昇(計算結果)

IGBT	オン損失	495W	$600A \times 1.65V \div 2 = 495W$ (1個のIGBTに半周期分の電流が流れるとして算出)
	スイッチング損失	160W	$0.32J \times 1000Hz \div 2 = 160W$
	温度上昇	12.5°C	$(495W + 160W) \times 0.019K/W = 12.5°C$
SiC-FWD	オン損失	390W	$600A \times 1.3V \div 2 = 390W$ (1個のIGBTに半周期分の電流が流れるとして算出)
	スイッチング損失	1.5W	$0.003J \times 1000Hz \div 2 = 1.5W$
	温度上昇	13.7°C	$(390W + 1.5W) \times 0.035K/W = 13.7°C$

[0053] 上記表6の結果に示されるように、SiC-FWDチップの温度上昇は、IGBTチップの温度上昇と同程度となる。また、従来の2in1モジュールにおけるSi-FWDチップの温度上昇値である30°Cに対し（表2参照）、1/2以下の温度上昇値とすることができ、IGBTチップの温度上昇に合わせ、モジュールのケース温度を110°Cとなるような冷却器を用いても、FWDチップの接合温度は、接合温度許容値の125°C以下とすることが可能となる。

[0054] このため、本実施の形態の電力変換装置では、図11に示すように、3個の2in1モジュールを用いて3相インバータを構成することが可能となる。

[0055] なお、高温での使用が可能であるというSiCの特徴を生かせば、SiC-FWDチップの許容動作温度を150°C以上に引き上げることができ、SiC-FWDチップの占有面積をさらに小さくすることができるので、モジュールサイズの更なる削減が可能となる。

[0056] また、SiC-FWDチップの占有面積の削減分を、IGBTチップの占有面積の増加に振り向けることとすれば、既存のモジュールサイズを大きくすることなくモジュール性能の向上が可能となる。

- [0057] さらに、S i C－FWDチップの許容動作温度の高温化により、S i Cに対する冷却器の性能を低減することができるので、冷却器の小型化および低コスト化が可能となる。
- [0058] なお、本実施の形態では、FWDチップ占有面積比を約 $1/4$ ($=0.25$) として説明したが、この $1/4$ という数値に限定されるものではない。本発明の意義は、鉄道応用の電力変換装置に適用可能な2 i n 1モジュールを提供することにあるため、これを実現可能であればFWDチップ占有面積比は幾つであっても構わない。
- [0059] 例えば、上述したように高温での使用が可能であるというS i Cの特徴を活用したり、S i C－FWDチップの占有面積の削減分を、I G B Tチップに振り向けたりする手法を用いれば、S i C－FWDチップの占有面積の削減分とI G B Tチップの占有面積の増加分との相乗効果により、FWDチップ占有面積比の更なる低減が可能である。ここで、前者による低減効果を20%とし、後者による低減効果を20%と見積もれば、両者を合わせて40%程度の低減が可能であり、FWDチップ占有面積比を 0.15 ($= (1/4) \times (1-0.4)$) 程度まで低減することが可能となる。
- [0060] また、本実施の形態では、2 i n 1モジュールのチップサイズを小さくすることができるという付随的な効果が得られるが、この効果は、FWDとしてS i Cを用いることにより、従来の2 i n 1モジュールにおけるFWDチップ占有面積比を $1/2$ 未満に低減できることから得られる。ただし、従来の2 i n 1モジュールの設計に際しては、種々の設計条件に応じて±10%程度の誤差は生じるものである。これらの観点に鑑みて見れば、FWDチップ占有面積比を 0.45 ($=0.5 \times (1-0.1)$) 未満に低減できる点に本発明の意義があると言っても過言ではない。
- [0061] また、本実施の形態では、2 i n 1モジュールを構成するスイッチング素子として、I G B Tを一例として示したが、I G B Tに代えてM O S F E Tを搭載するものであっても構わない。なお、M O S F E Tの方がI G B Tよりもスイッチング損失が小さいため、M O S F E Tの使用により、モジュ-

ルおよび冷却器の小型化、低コスト化が実現可能となる。

[0062] なお、各S i C－FWDチップを、それぞれの素子対をなす各I G B Tチップと温度上昇が同等になるようなサイズに形成すれば、冷却器の設計が容易になり、冷却器の小型化、低コスト化に効果的である。

[0063] また、本実施の形態では、インバータへの適用を一例として説明したが、コンバータに適用することも無論可能である。コンバータに適用する場合、従来技術では4つの1 i n 1モジュールを用いて構成することになるが、本実施の形態の技術を用いれば、2つの2 i n 1モジュールを用いて構成することが可能となる。なお、鉄道応用において、コンバータの場合もI G B Tに流れる電流よりもFWDに流れる電流のほうが大きいいため、FWDにS i Cを適用することにより、損失低減による装置の小型化、低コスト化、および部品点数低減による高信頼度化が実現可能となる。

[0064] また、本実施の形態の技術を鉄道車両用の補助電源装置に適用する場合、負荷力率の悪い状態下でのインバータ損失を低減することができるので、補助電源装置に用いるインバータを小型化することができ、装置の小型化および低コスト化が実現可能となる。

産業上の利用可能性

[0065] 以上のように、本発明は、更なる小型化を可能とし、鉄道車両に適用可能なパワー半導体モジュールおよび電力変換装置として有用である。

符号の説明

- [0066]
- 1 架線
 - 2 集電装置
 - 3 車輪
 - 4 レール
 - 6 変圧器
 - 10 コンバータ
 - 20 コンデンサ
 - 30 インバータ

4 0 電動機

5 0 電力変換装置

6 0 2 i n 1 モジュール

6 2 素子対 (第 1 の素子対)

6 4 素子対 (第 2 の素子対)

7 2 素子対

7 0 1 i n 1 モジュール

1 0 0 鉄道車両

C, C 1, C 2 コレクタ電極

E, E 1, E 2 エミッタ電極

UNC, VNC, WNC, UNI, VNI, WNI, UPC, VPC, W
PC, UPI, VPI, WPI スイッチング素子

請求の範囲

- [請求項1] 鉄道車両用の電力変換装置に適用されるパワー半導体モジュールにおいて、
- 第1のスイッチング素子と第1のダイオード素子とが逆並列に接続されてなる第1の素子対と、
- 第2のスイッチング素子と第2のダイオード素子とが逆並列に接続されてなる第2の素子対と、
- を有し、
- 前記第1および第2のダイオード素子は、ワイドバンドギャップ半導体により形成され、
- 前記第1の素子対は前記電力変換装置の正側アームとして動作し、前記第2の素子対は前記電力変換装置の負側アームとして動作するように1つのモジュール内に收容され、2 in 1モジュールとして構成されていることを特徴とするパワー半導体モジュール。
- [請求項2] 前記各素子対におけるスイッチング素子の占有面積に対するダイオード素子の占有面積の比が15%以上、且つ、45%未満であることを特徴とする請求項1に記載のパワー半導体モジュール。
- [請求項3] 前記第1および第2のダイオード素子は、前記第1および第2のスイッチング素子と温度上昇が同等になるサイズに形成されていることを特徴とする請求項1に記載のパワー半導体モジュール。
- [請求項4] 前記ワイドバンドギャップ半導体は、炭化ケイ素、窒化ガリウム系材料または、ダイヤモンドを用いた半導体であることを特徴とする請求項1～3の何れか1項に記載のパワー半導体モジュール。
- [請求項5] 前記第1および第2のスイッチング素子は、IGBT素子またはMOSFET素子であることを特徴とする請求項4に記載のパワー半導体モジュール。
- [請求項6] 鉄道車両に搭載され、入力された直流電圧または交流電圧を所望の交流電圧に変換して出力する電力変換装置において、

スイッチング素子とダイオード素子とが逆並列に接続されて正側アームを構成する第1の素子対と、スイッチング素子とダイオード素子とが逆並列に接続されて負側アームを構成する第2の素子対とが直列接続されてなるレグを複数組有し、

前記ダイオード素子は、ワイドバンドギャップ半導体により形成され、

前記各レグを構成する第1および第2の素子対は、1つのモジュール内に收容され、2 in 1モジュールとして構成されていることを特徴とする電力変換装置。

[請求項7] 前記各素子対におけるスイッチング素子の占有面積に対するダイオード素子の占有面積の比が15%以上、且つ、45%未満であることを特徴とする請求項6に記載の電力変換装置。

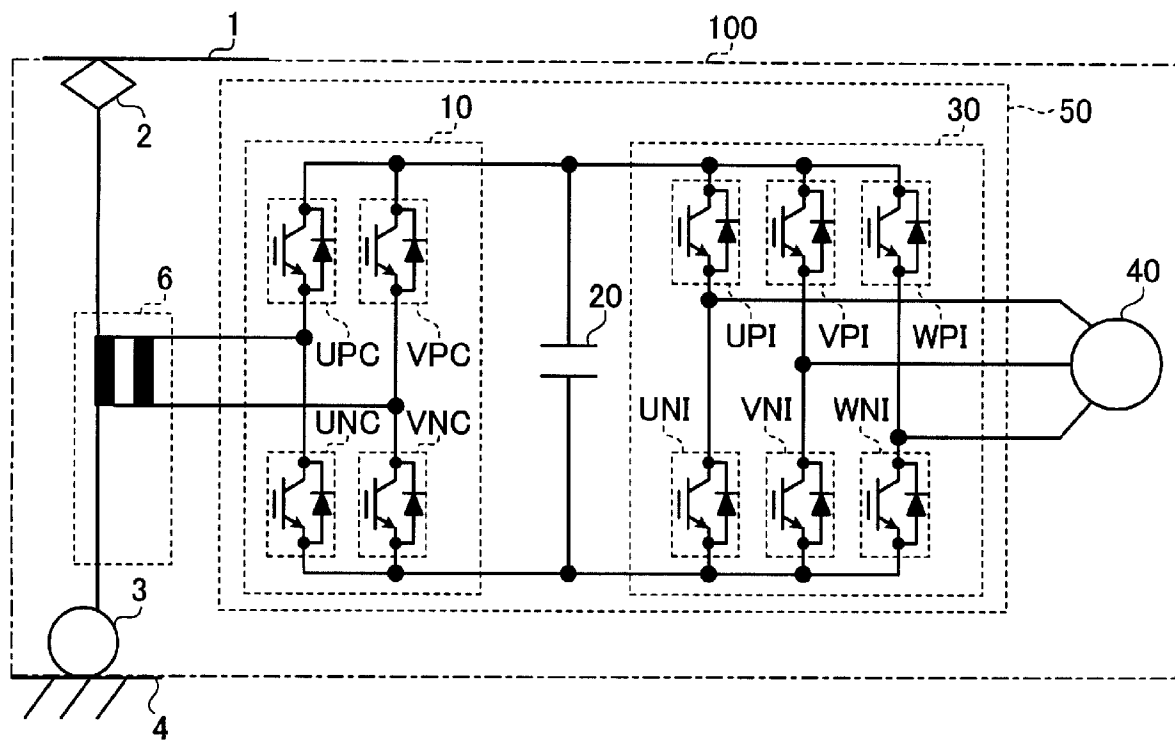
[請求項8] 前記各ダイオード素子は、それぞれの素子対を構成するスイッチング素子と温度上昇が同等になるサイズに形成されていることを特徴とする請求項6に記載の電力変換装置。

[請求項9] 前記ワイドバンドギャップ半導体は、炭化ケイ素、窒化ガリウム系材料または、ダイヤモンドを用いた半導体であることを特徴とする請求項6～8の何れか1項に記載の電力変換装置。

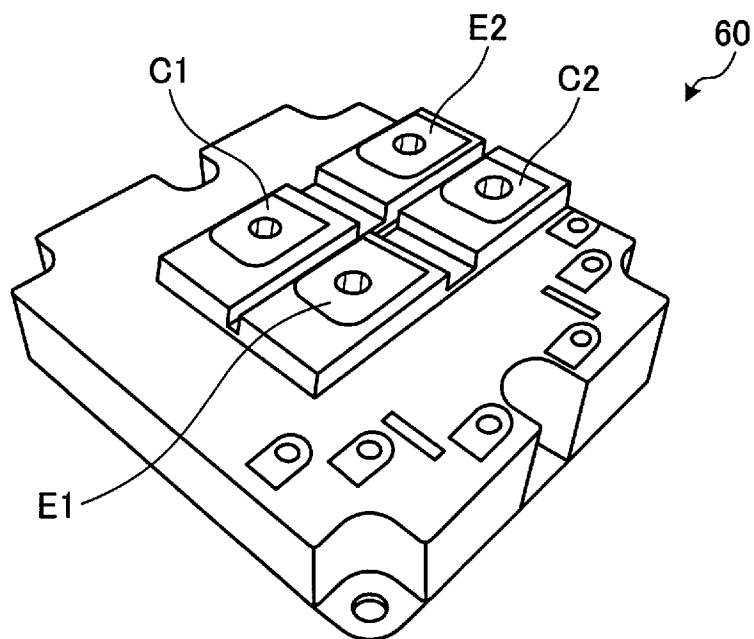
[請求項10] 前記各スイッチング素子は、IGBT素子またはMOSFET素子であることを特徴とする請求項9に記載の電力変換装置。

[請求項11] 請求項6～10の何れか1項に記載の電力変換装置と、
前記電力変換装置からの電力供給を受けて車両を駆動する電動機と、
を備えたことを特徴とする鉄道車両。

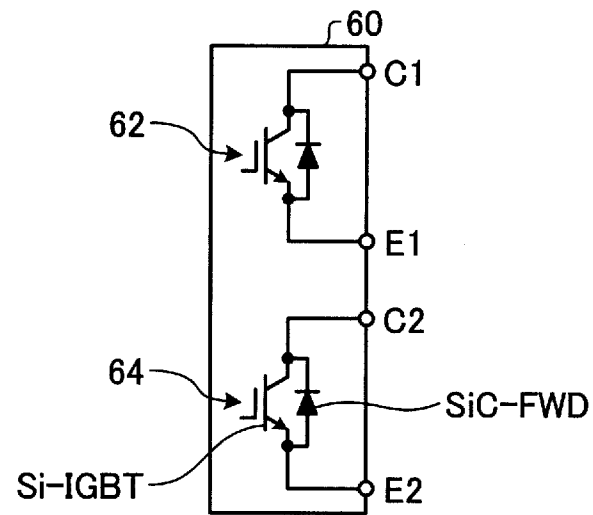
[図1]



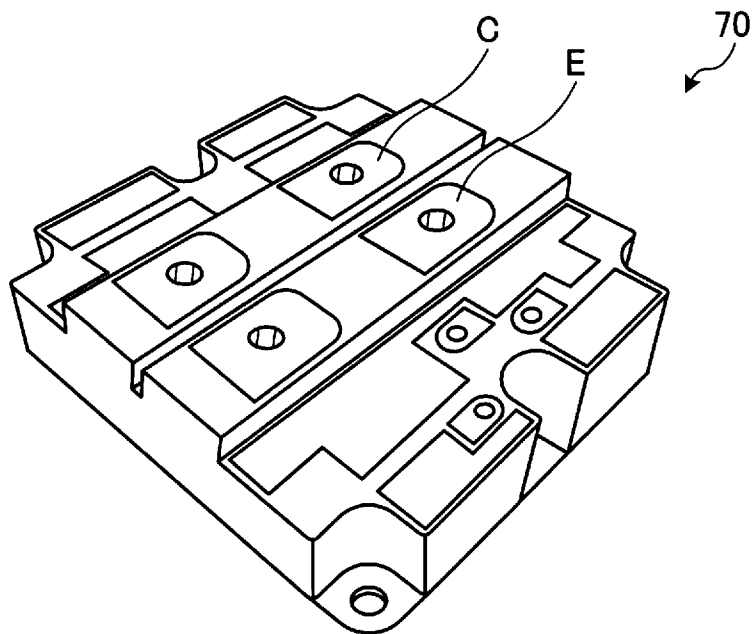
[図2]



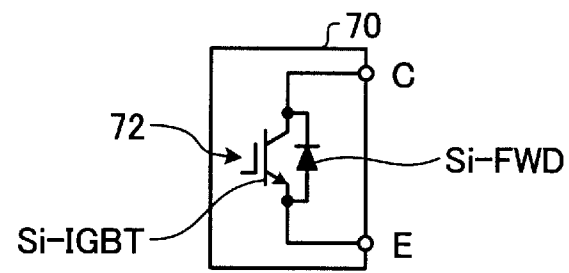
[図3]



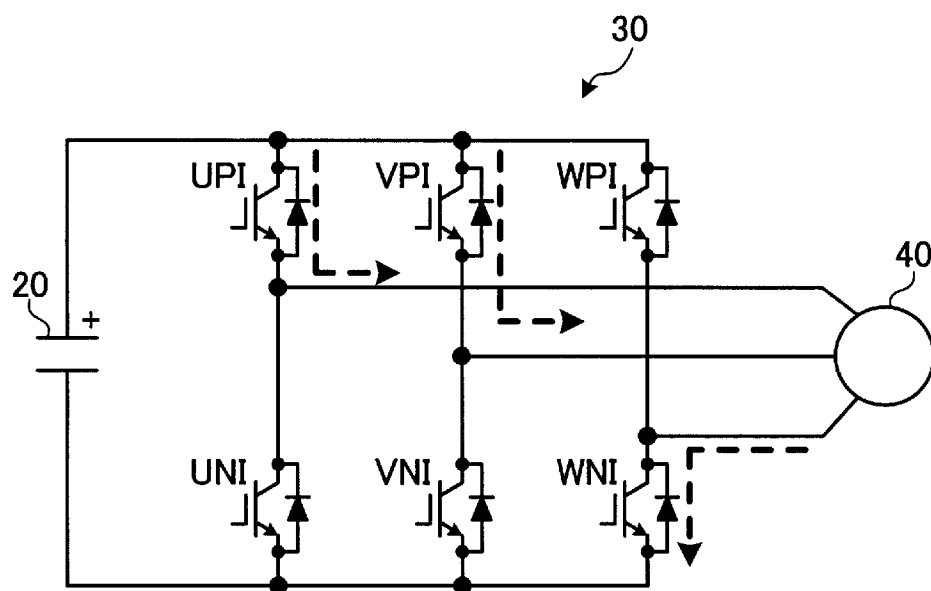
[図4]



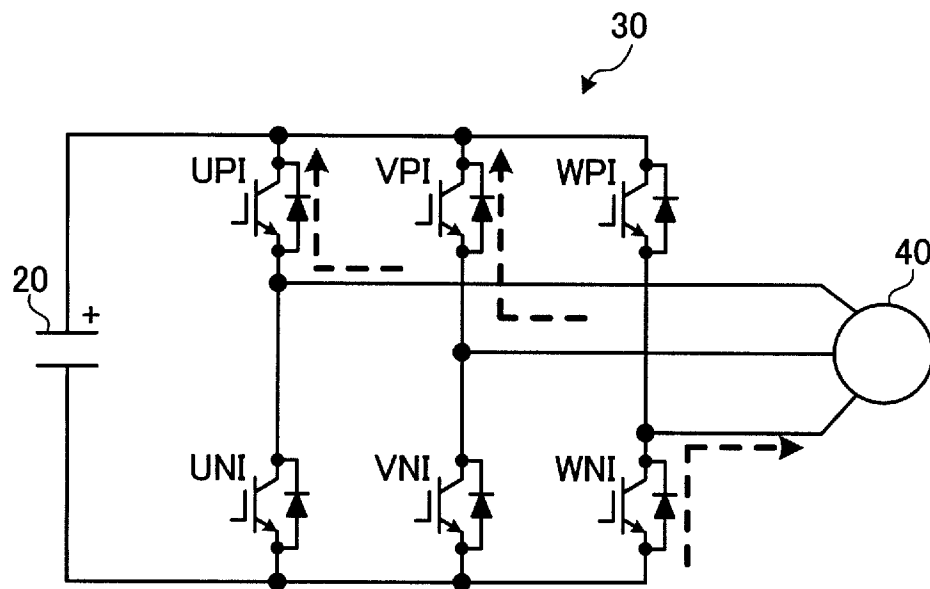
[図5]



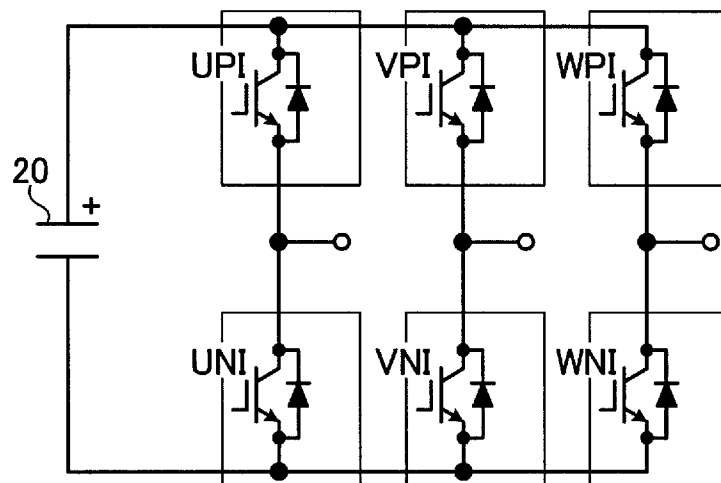
[図6]



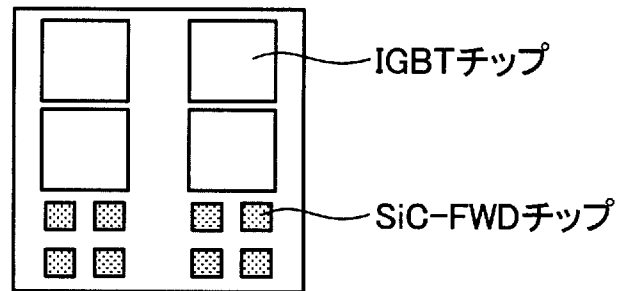
[図7]



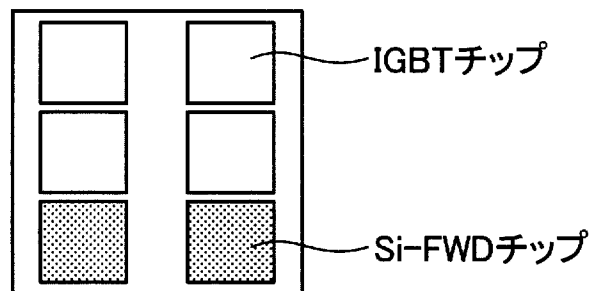
[図8]



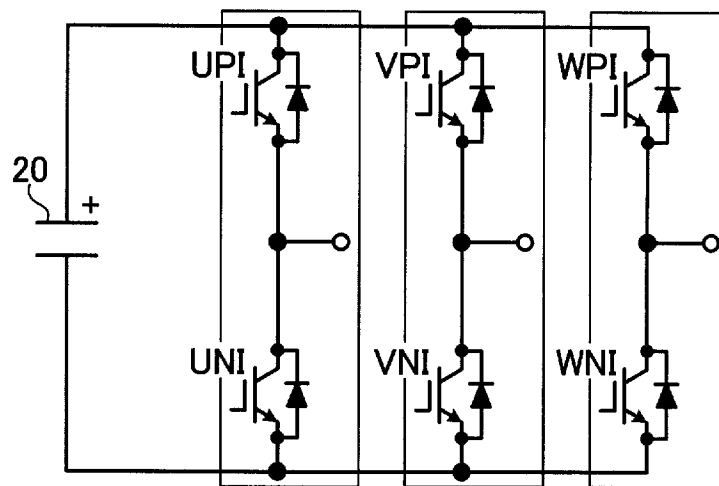
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/050512

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L25/07(2006.01)i, B60L3/00(2006.01)i, H01L25/18(2006.01)i, H02M7/04(2006.01)i, H02M7/12(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)

H01L25/00-H01L25/18

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 2001-245479 A (Mitsubishi Electric Corp.), 07 September 2001 (07.09.2001), paragraphs [0002], [0027] to [0034], [0050]; fig. 1, 5 (Family: none)	1-11
X	JP 2005-5593 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 January 2005 (06.01.2005), paragraphs [0015] to [0026]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-11
A	JP 11-510000 A (ABB Research Ltd.), 31 August 1999 (31.08.1999), page 13, line 10 to page 15, line 6; fig. 1 & US 5661644 A & WO 1997/001209 A1	1-11



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
23 March, 2010 (23.03.10)

Date of mailing of the international search report
30 March, 2010 (30.03.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L25/07(2006.01)i, B60L3/00(2006.01)i, H01L25/18(2006.01)i, H02M7/04(2006.01)i, H02M7/12(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. H01L25/00-H01L25/18

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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 2001-245479 A (三菱電機株式会社) 2001.09.07, [0002], [0027]-[0034], [0050], 図1, 図5 (ファミリーなし)	1-11
X	JP 2005-5593 A (三菱電機株式会社) 2005.01.06, [0015]-[0026], 図1, 図3 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 11-510000 A (エービービー リサーチ リミテッド) 1999.08.31, 第13頁第10行-第15頁第6行, 図1 & US 5661644 A & WO 1997/001209 A1	1-11

☐ 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

2 3 . 0 3 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

3 0 . 0 3 . 2 0 1 0

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)

酒井 英夫

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 7 1

4 R

9 6 3 1