

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7229382号
(P7229382)

(45)発行日 令和5年2月27日(2023.2.27)

(24)登録日 令和5年2月16日(2023.2.16)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 23/48 (2006.01)	H 0 1 L 23/48 S
H 0 1 L 23/29 (2006.01)	H 0 1 L 23/30 B
H 0 1 L 23/31 (2006.01)	H 0 1 L 25/04 C
H 0 1 L 25/07 (2006.01)	
H 0 1 L 25/18 (2023.01)	

請求項の数 6 (全19頁)

(21)出願番号	特願2021-551071(P2021-551071)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和1年10月11日(2019.10.11)	(74)代理人	110001195 弁理士法人深見特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/040224	(72)発明者	伊藤 悠策 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
(87)国際公開番号	WO2021/070358	審査官	井上 和俊
(87)国際公開日	令和3年4月15日(2021.4.15)		
審査請求日	令和3年10月8日(2021.10.8)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置、電力変換装置および半導体装置の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

回路基板と、
前記回路基板に配置された半導体素子と、
前記半導体素子と接続された第1接続部と、前記半導体素子および前記回路基板のいずれかと接続された第2接続部と、前記第1接続部と前記第2接続部との間に位置し、かつ第1屈曲部を有する第1ループ部とを含むボンディングワイヤと、
前記第1ループ部の前記第1屈曲部を覆う封止材と、
前記回路基板と、前記半導体素子と、前記ボンディングワイヤと、前記封止材とを封止する熱硬化性樹脂とを備え、
前記封止材は、前記熱硬化性樹脂よりも低い弾性率を有しており、
前記封止材は、前記ボンディングワイヤの前記第1接続部から前記第1ループ部の上端までの高さの半分の高さ位置よりも上側に位置しており、かつ前記第1接続部から前記第1ループ部の上端までの高さの半分の前記高さ位置よりも下側に位置していない、半導体装置。

【請求項2】

前記第1屈曲部は、2mmよりも大きい曲率半径を有している、請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】

回路基板と、

前記回路基板に配置された半導体素子と、

前記半導体素子と接続された第1接続部と、前記半導体素子および前記回路基板のいずれかと接続された第2接続部と、前記第1接続部と前記第2接続部との間に位置し、かつ第1屈曲部を有する第1ループ部とを含むボンディングワイヤと、

前記第1ループ部の前記第1屈曲部を覆う封止材と、

前記回路基板と、前記半導体素子と、前記ボンディングワイヤと、前記封止材とを封止する熱硬化性樹脂とを備え、

前記封止材は、前記熱硬化性樹脂よりも低い弾性率を有しており、

前記ボンディングワイヤは、前記半導体素子および前記回路基板のいずれかと接続された第3接続部と、前記第2接続部と前記第3接続部との間に位置し、かつ第2屈曲部を有する第2ループ部とをさらに含み、

前記封止材は、前記第1ループ部の前記第1屈曲部および前記第2ループ部の前記第2屈曲部を一体的に覆っている、半導体装置。

【請求項4】

回路基板と、

前記回路基板に配置された半導体素子と、

前記半導体素子と接続された第1接続部と、前記半導体素子および前記回路基板のいずれかと接続された第2接続部と、前記第1接続部と前記第2接続部との間に位置し、かつ第1屈曲部を有する第1ループ部とを含むボンディングワイヤと、

前記第1ループ部の前記第1屈曲部を覆う封止材と、

前記回路基板と、前記半導体素子と、前記ボンディングワイヤと、前記封止材とを封止する熱硬化性樹脂とを備え、

前記封止材は、前記熱硬化性樹脂よりも低い弾性率を有しており、

前記ボンディングワイヤは、第1ワイヤ部および第2ワイヤ部を含み、

前記第1屈曲部は、前記第1ワイヤ部に含まれる第1ワイヤ部屈曲部と、前記第2ワイヤ部に含まれる第2ワイヤ部屈曲部とを含み、

前記封止材は、前記第1ワイヤ部屈曲部と前記第2ワイヤ部屈曲部とを一体的に覆っている、半導体装置。

【請求項5】

請求項1～4のいずれか1項に記載の前記半導体装置を有し、入力される電力を変換して出力する主変換回路と、

前記主変換回路を制御する制御信号を前記主変換回路に出力する制御回路とを備えた電力変換装置。

【請求項6】

回路基板に配置された半導体素子に接続されているボンディングワイヤの第1接続部と、前記回路基板および前記半導体素子のいずれかと接続された前記ボンディングワイヤの第2接続部との間に位置する前記ボンディングワイヤの第1ループ部の第1屈曲部が封止材に覆われる工程と、

前記回路基板と、前記半導体素子と、前記ボンディングワイヤと、前記封止材とが、熱硬化性樹脂に封止される工程とを備え、

前記封止材は、前記熱硬化性樹脂よりも低い弾性率を有し、

前記封止材は、前記ボンディングワイヤの前記第1接続部から前記第1ループ部の上端までの高さの半分の高さ位置よりも上側に位置しており、かつ前記第1接続部から前記第1ループ部の上端までの高さの半分の前記高さ位置よりも下側に位置していない、半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置、電力変換装置および半導体装置の製造方法に関するものである。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 2 】

従来、半導体装置は、半導体素子と回路基板とを接続するためのボンディングワイヤと、半導体素子、回路基板およびボンディングワイヤを封止する熱硬化性樹脂とを備えている。例えば、特開平 8 - 2 8 8 4 2 6 号公報（特許文献 1）には、半導体素子、回路基板およびボンディングワイヤが熱硬化性樹脂により封止された半導体装置が記載されている。この公報に記載された半導体装置では、ボンディングワイヤは、半導体素子と接続されている第 1 接続部と、回路基板と接続されている第 2 接続部と、第 1 接続部と第 2 接続部との間に位置するループ部とを含んでいる。また、半導体装置は、第 2 接続部を覆う封止材（ワイヤ固定樹脂）をさらに備えている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 3 】

【 文献 】特開平 8 - 2 8 8 4 2 6 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 4 】

上記公報に掲載された半導体装置においては、第 1 接続部が熱硬化性樹脂によって封止され、かつ第 2 接続部が封止材によって覆われていることにより、第 1 接続部および第 2 接続部においてクラックが進展することが抑制されている。一方で、上記公報に掲載された半導体装置の動作中に半導体素子が発熱することにより、ボンディングワイヤおよび熱硬化性樹脂の温度が変化する。ボンディングワイヤは、ボンディングワイヤと異なる線膨張係数を有する熱硬化性樹脂によって封止されている。そのため、ボンディングワイヤが温度変化に伴って変形することが妨げられている。このため、ボンディングワイヤには熱応力が発生する。また、ループ部は屈曲部において屈曲しているため、屈曲部には熱応力が集中して発生する。よって、屈曲部においてクラックが発生し、進展し得る。

【 0 0 0 5 】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、ボンディングワイヤの第 1 接続部および第 2 接続部でのクラックの進展を抑制できるとともに、屈曲部でのクラックの進展を抑制できる半導体装置を提供することである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

本発明の半導体装置は、回路基板と、半導体素子と、ボンディングワイヤと、封止材と、熱硬化性樹脂とを備えている。半導体素子は、回路基板に配置されている。ボンディングワイヤは、第 1 接続部と、第 2 接続部と、第 1 ループ部とを含んでいる。第 1 接続部は、半導体素子と接続されている。第 2 接続部は、半導体素子および回路基板のいずれかと接続されている。第 1 ループ部は、第 1 接続部と第 2 接続部との間に位置している。第 1 ループ部は、第 1 屈曲部を有している。封止材は、第 1 屈曲部を覆っている。熱硬化性樹脂は、回路基板と、半導体素子と、ボンディングワイヤと、封止材とを封止している。封止材は、熱硬化性樹脂よりも低い弾性率を有している。封止材は、ボンディングワイヤの第 1 接続部から第 1 ループ部の上端までの高さの半分の高さ位置よりも上側に位置している。封止材は、第 1 接続部から第 1 ループ部の上端までの高さの半分の高さ位置よりも下側に位置していない。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 7 】

本発明の半導体装置によれば、第 1 屈曲部を覆う封止材は、熱硬化性樹脂よりも低い弾性率を有している。このため、第 1 屈曲部が熱硬化性樹脂に封止されている場合よりも第 1 屈曲部に発生する熱応力を低減させることができる。よって、第 1 屈曲部でのクラックの進展を抑制できる。また、第 1 接続部および第 2 接続部が熱硬化性樹脂に封止されているため、第 1 接続部および第 2 接続部でのクラックの進展を抑制できる。

【 図面の簡単な説明 】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態 1 に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 2 】 本発明の実施の形態 1 の変形例に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 3 】 比較例に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 4 】 本発明の実施の形態 1 に係る半導体装置の製造方法を概略的に示すフローチャートである。

【 図 5 】 本発明の実施の形態 2 に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 6 】 本発明の実施の形態 2 の変形例に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 7 】 本発明の実施の形態 3 に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 8 】 本発明の実施の形態 4 に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 9 】 本発明の実施の形態 4 の変形例に係る半導体装置の構成を概略的に示す断面図である。

【 図 1 0 】 本発明の実施の形態 5 に係る電力変換システムの構成を概略的に示すブロック図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 0 9 】

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。なお、以下では、同一または相当する部分に同一の符号を付すものとし、重複する説明は繰り返さない。

【 0 0 1 0 】

実施の形態 1 .

半導体装置 1 0 の構成について

図 1 ~ 図 3 を用いて、実施の形態 1 に係る半導体装置 1 0 の構成を説明する。図 1 は、本実施の形態 1 に係る半導体装置 1 0 の構成を概略的に示す断面図である。

【 0 0 1 1 】

本願では方向を示す用語として、高さ方向が用いられる。高さ方向とは、回路基板 2 に対して垂直な方向である。

【 0 0 1 2 】

図 1 に示されるように、半導体装置 1 0 は、ボンディングワイヤ 1 と、回路基板 2 と、半導体素子 3 と、封止材 4 と、熱硬化性樹脂 5 と、ベース板 6 と、上側接合材 7 a と、下側接合材 7 b とを含んでいる。半導体装置 1 0 は、電力用のパワー半導体装置である。

【 0 0 1 3 】

図 1 に示されるように、ベース板 6 には回路基板 2 が配置されている。回路基板 2 は、下側接合材 7 によってベース板 6 の上面に接合されている。ベース板 6 の材料は、例えば、銅 (C u) または炭化珪素粒子強化アルミニウム複合材 (A l S i C) などである。半導体素子 3 で発生した熱は、ベース板 6 によって外部に放出される。なお、ベース板 6 および下側接合材 7 b は、設けられていなくてもよい。ベース板 6 および下側接合材 7 b が設けられていない場合、半導体装置 1 0 で発生した熱は、後述する下側導体パターン 2 3 によって外部に放出される。上側接合材 7 a および下側接合材 7 b の材料は、例えば、はんだまたは焼結性銀粒子材などである。

【 0 0 1 4 】

図 1 に示されるように、回路基板 2 は、絶縁層 2 1 と、上側導体パターン 2 2 と、下側導体パターン 2 3 とを含んでいる。絶縁層 2 1 は、上側導体パターン 2 2 と下側導体パターン 2 3 とによって挟み込まれている。上側導体パターン 2 2 と、絶縁層 2 1 と、下側導体パターン 2 3 とは、高さ方向に上側導体パターン 2 2 、絶縁層 2 1 、下側導体パターン 2 3 の順で積層されている。絶縁層 2 1 の材料は、例えば、アルミナ (A l ₂ O ₃) または窒化アルミニウム (A l N) などである。また、ベース板 6 および下側接合材 7 b が設けられていない場合、絶縁層 2 1 の材料は、絶縁性を有している樹脂であってもよい。

【 0 0 1 5 】

10

20

30

40

50

上側導体パターン 22 は、絶縁層 21 の上面に配置されている。上側導体パターン 22 は、上側接合材 7a によって半導体素子 3 と接合されている。下側導体パターン 23 は、絶縁層 21 の下面に配置されている。下側導体パターン 23 は、下側接合材 7b によってベース板 6 の上面と接合されている。上側導体パターン 22 および下側導体パターン 23 の材料は、例えば、銅 (Cu) などである。上側導体パターン 22 および下側導体パターン 23 のそれぞれは、二層構造であってもよい。上側導体パターン 22 および下側導体パターン 23 のそれぞれは、例えば、絶縁層 21 の表面に形成されているアルミニウム (Al) 層と、アルミニウム (Al) 層の表面に形成されている銅 (Cu) 層とを含んでいてもよい。

【0016】

上側導体パターン 22 の上面には、熱硬化性樹脂 5 との界面が配置されている。上側導体パターン 22 の上面には、レーザー加工または溶剤などによって図示されない凹凸が設けられていてもよい。また、上側導体パターン 22 の上面には、熱硬化性樹脂 5 との密着性を向上させるための図示されないコーティングが施されていてもよい。図示されない凹凸またはコーティングによって、上側導体パターン 22 の上面から熱硬化性樹脂 5 が剥離することが抑制されている。また、下側導体パターン 23 の下面にも、図示されない凹凸またはコーティングが設けられていてもよい。

【0017】

図 1 に示されるように、半導体素子 3 は、回路基板 2 に配置されている。半導体素子 3 は、上側接合材 7a によって、上側導体パターン 22 に接合されている。半導体素子 3 は、例えば、絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor) および金属酸化物半導体電界効果トランジスタ (MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) などのスイッチング素子であってもよいし、ショットキーバリアダイオードなどの整流素子であってもよい。

【0018】

半導体素子 3 の表面には、図示されない表面電極が設けられている。表面電極の材料は、例えば、アルミニウム (Al)、またはアルミニウム (Al) に珪素 (Si) が添加されたアルミニウム合金などである。図示されない表面電極の表面には、図示されない被覆層がさらに設けられていてもよい。図示されない被覆層の材料は、例えば、ニッケル (Ni) または金 (Au) などである。

【0019】

半導体素子 3 の材料は、例えば、珪素 (Si) である。珪素 (Si) によって形成されている半導体素子 3 の線膨張係数は、例えば、 $3 \times 10^{-6} / K$ である。珪素 (Si) によって形成されている半導体素子 3 の弾性率は、例えば、70 GPa である。半導体素子 3 の材料は、例えば、珪素 (Si) よりも大きいバンドギャップを有しているワイドバンドギャップ半導体材料であってもよい。半導体素子 3 の材料は、望ましくは、ワイドバンドギャップ半導体材料である。ワイドバンドギャップ半導体材料は、例えば、炭化珪素 (SiC)、窒化ガリウム (GaN) またはダイヤモンドなどである。

【0020】

ワイドバンドギャップ半導体材料によって形成されている半導体素子 3 は、珪素 (Si) によって形成されている半導体素子 3 よりも、高い許容電流密度を有している。また、ワイドバンドギャップ半導体材料によって形成されている半導体素子 3 の電力損失は、珪素 (Si) によって形成されている半導体素子 3 よりも小さい。このため、半導体素子 3 の材料としてワイドギャップ半導体材料が用いられることで、半導体装置 10 の寸法を小さくすることができる。

【0021】

ワイドバンドギャップ半導体材料によって形成されている半導体素子 3 の動作温度の上限は、珪素 (Si) によって形成されている半導体素子 3 よりも高い。例えば、炭化珪素 (SiC) によって形成されている半導体素子 3 を含んでいる半導体装置 10 が動作する場合、半導体素子 3 の温度は、高温である。この場合、半導体素子 3 の温度は、例えば、

10

20

30

40

50

150 以上である。この場合、半導体素子3の温度は、例えば、200 以上である。

【0022】

図1に示されるように、ボンディングワイヤ1は、第1接続部11と、第2接続部12と、第1ループ部101とを含んでいる。第1接続部11は、半導体素子3と接続されている。第2接続部12は、半導体素子3および回路基板2のいずれかと接続されている。第1ループ部101は、第1接続部11と第2接続部12との間に位置している。第1ループ部101は、第1屈曲部13を有している。本実施の形態においては、第2接続部12は、回路基板2と接続されている。図2に示されるように、第2接続部12は、半導体素子3と接続されていてもよい。

【0023】

ボンディングワイヤ1は、例えば、超音波接合によって半導体素子3および回路基板2に接合されている。ボンディングワイヤ1は、半導体素子3の図示されない表面電極と、回路基板2の上側導体パターン22の上面とを電氣的に接続している。

【0024】

図1に示されるように、ボンディングワイヤ1は、第1ループ部101によってループ状に形成されている。ボンディングワイヤの第1ループ部は、第1屈曲部13において屈曲している。第1ループ部101は、回路基板2に対して上側に突出している。

【0025】

図1に示されるように、第1ループ部101は、第1部分14および第2部分15を有している。第1部分14は、第1接続部11と第1屈曲部13とを接続している。第2部分15は、第2接続部12と第1屈曲部13とを接続している。第1部分14は、第2部分15と交差する方向に延伸している。第1屈曲部13は、第1部分14および第2部分15と繋がっている。第1部分14および第2部分15は、第1屈曲部13を挟んで互いに向かい合っている。第1部分14および第2部分15は、封止材4から露出しているもよい。

【0026】

図1に示されるように、ボンディングワイヤ1は、熱硬化性樹脂5に封止されている。ボンディングワイヤ1は、熱硬化性樹脂5に拘束されている。第1接続部11および第2接続部12は、封止材4から露出しつつ、熱硬化性樹脂5に封止されている。第1屈曲部13は、封止材4に覆われつつ、熱硬化性樹脂5に封止されている。第1屈曲部13は、熱硬化性樹脂5と直接に接触していない。ボンディングワイヤ1の上端は、封止材4に覆われている。ボンディングワイヤ1の下端は、熱硬化性樹脂5に封止されている。

【0027】

ボンディングワイヤ1の材料は、例えば、アルミニウム(Al)または銅(Cu)などの導電性を有する金属である。ボンディングワイヤ1の材料がアルミニウム(Al)である場合、ボンディングワイヤ1の線膨張係数は、例えば、 $2.3 \times 10^{-5} / K$ である。ボンディングワイヤ1の材料がアルミニウム(Al)である場合、ボンディングワイヤ1の弾性率は、例えば、70 GPaである。

【0028】

図1に示されるように、封止材4は、第1ループ部101の第1屈曲部13を覆っている。封止材4は、熱硬化性樹脂5よりも低い弾性率を有している。封止材4は、第1接続部11および第2接続部12を覆っていない。封止材4は、熱硬化性樹脂5に封止されている。封止材4は、熱硬化性樹脂5よりも低い弾性率を有しており、かつ第1屈曲部13を覆っているため、第1屈曲部13の緩衝材として機能している。封止材4は、ボンディングワイヤ1よりも低い弾性率を有しているもよい。封止材4の形状は、第1屈曲部13が覆われる限り適宜に決められてもよい。封止材4は、例えば、図1に示されるように第1屈曲部13に沿う形状を有しているもよいし、図7に示されるように略球状の形状を有しているもよい。

【0029】

封止材4の材料は、熱硬化性樹脂5の材料と異なっている。封止材4は、熱硬化性樹脂

10

20

30

40

50

5よりも柔らかい。封止材4の内部において、第1屈曲部13は変形可能である。封止材4の材料は、例えば、ポリイミドなどである。ポリイミドは、一般的に、熱硬化性樹脂5の材料であるエポキシ樹脂よりも低い弾性率を有している。ポリイミドは、一般的に、他の高分子化合物よりも高い強度および高い耐熱性を有している。ポリイミドは、電気絶縁性を有しているため、絶縁材料として用いられている。以上より、封止材4は、高い強度、高い耐熱性および電気絶縁性を有している。

【0030】

封止材4の線膨張係数とボンディングワイヤ1の線膨張係数との差は、熱硬化性樹脂5の線膨張係数とボンディングワイヤ1の線膨張係数との差よりも小さくてもよい。例えば、ポリイミドは、有機物の中では相対的に低い線膨張係数を有している。このため、ポリイミドは、有機物の中では相対的に、金属に近い線膨張係数を有している。よって、ポリイミドによって形成されている封止材4の熱ひずみと金属によって形成されているボンディングワイヤ1の熱ひずみとが近いこと、ボンディングワイヤ1に熱応力が生じにくい。

10

【0031】

封止材4は、硬化されていない状態かつ常温の状態において、一定の粘度を有している液体であってもよい。これにより、後述される半導体装置10の製造方法において、封止材4がディスペンサなどによってボンディングワイヤ1の第1ループ部101に滴下された際に、第1屈曲部13のみに封止材4が塗布され得る。

【0032】

封止材4の材料は、ボンディングワイヤ1に応じて適宜に決められてもよい。例えば、図2に示されるように封止材4が第1封止部4aおよび第2封止部4bを含んでいる場合、第1封止部4aおよび第2封止部4bの材料が異なってもよい。例えば、複数の材料が適宜に組み合わせられたものが封止材4の材料として用いられてもよい。

20

【0033】

図1に示されるように、熱硬化性樹脂5は、回路基板2と、半導体素子3と、ボンディングワイヤ1と、封止材4とを封止している。熱硬化性樹脂5は、具体的には、ボンディングワイヤ1の第1接続部11および第2接続部12を封止している。熱硬化性樹脂5は、第1接続部11および第2接続部12を封止することによって第1接続部11および第2接続部12を補強している。熱硬化性樹脂5は、封止材4を挟み込んで、第1屈曲部13を封止している。

30

【0034】

熱硬化性樹脂5は、封止材4よりも高い弾性率を有している。熱硬化性樹脂5の内部において、ボンディングワイヤ1が変形することが抑制されている。熱硬化性樹脂5は、絶縁性を有している。熱硬化性樹脂5の材料は、例えば、エポキシ樹脂などである。エポキシ樹脂の弾性率は、例えば、5GPaである。熱硬化性樹脂5は、ボンディングワイヤ1と異なる線膨張係数を有している。エポキシ樹脂の線膨張係数は、例えば、 $2.0 \times 10^{-5} / K$ である。

【0035】

半導体装置10の温度は動作時において、高温になり、例えば、200になる。仮に、熱硬化性樹脂5がガラス転移温度の低い樹脂によって形成されている場合、高温によって熱硬化性樹脂5が軟化または劣化をすることで、熱硬化性樹脂5の弾性が低下し得る。これにより、熱硬化性樹脂5による第1接続部11および第2接続部12の補強が損なわれるため、第1接続部11および第2接続部12の信頼性が低下し得る。このため、熱硬化性樹脂5の材料は、望ましくは、高温において劣化することが抑制されている材料である。熱硬化性樹脂5が高温によって劣化することが抑制されるために、熱硬化性樹脂5が図示されない金属またはフィラーなどを含んでいることが望ましい。

40

【0036】

次に、図2を用いて、実施の形態1の変形例に係る半導体装置10の構成を説明する。実施の形態1の変形例において、ボンディングワイヤ1は、第3接続部16と、第2ループ部102とをさらに含んでいる。第3接続部16は、半導体素子3および回路基板2の

50

いずれかと接続されている。第2ループ部102は、第2接続部12と第3接続部16との間に位置している。第2ループ部102は、第2屈曲部17を有している。実施の形態1の変形例において、第2接続部12は半導体素子3に接続され、第3接続部16は回路基板2に接続されている。

【0037】

図2に示されるように、封止材4は、第1屈曲部13および第2屈曲部17のそれぞれを覆っている。封止材4は、第1封止部4aおよび第2封止部4bを含んでいる。第1封止部4aは、第1屈曲部13を覆っている。第2封止部4bは、第2屈曲部17を覆っている。第1封止部4aは、第2封止部4bと分離している。第1封止部4aおよび第2封止部4bは、別体である。第3接続部16は、封止材4から露出している。

10

【0038】

半導体装置10の温度変化および温度変化に伴う変形および熱応力について

半導体装置10が動作している際に、半導体素子3は発熱している。このため、半導体装置10の温度は、上昇する。具体的には、図1に示される、第1接続部11および第2接続部12の近傍の温度は、特に上昇する。

【0039】

半導体装置10が動作を停止した後は、半導体素子3において発生した熱が、図1に示される、以下の経路によって放熱されることによって、半導体装置10が冷却される。すなわち、半導体素子3において発生した熱は、上側接合材7a、上側導体パターン22、絶縁層21、下側導体パターン23、下側接合材7b、ベース板6の順に移動し、ベース板6から半導体装置10の外部へと放熱される。これにより、半導体装置10の温度は、低下する。具体的には、半導体素子3の温度は、急激に低下する。

20

【0040】

半導体装置10の温度が変化することによって、半導体装置10には変形が発生する。具体的には、半導体装置10の温度が上昇する場合には、ボンディングワイヤ1、封止材4および熱硬化性樹脂5が熱膨張する。また、半導体装置10の温度が低下する場合には、ボンディングワイヤ1、封止材4および熱硬化性樹脂5が熱収縮する。半導体装置10の温度変化(温度スイング)が大きくなるにつれて、半導体装置10の変形量が大きくなる。

【0041】

図3は、比較例に係る半導体装置10の構成を示す断面図である。比較例に係る半導体装置10は、封止材4を含んでいない。このため、図3に示される比較例に係る半導体装置10のボンディングワイヤ1の第1ループ部101の第1屈曲部13は、熱硬化性樹脂5に封止されている。このため比較例において、第1屈曲部13の変形は、熱硬化性樹脂5によって妨げられている。

30

【0042】

図3に示されるように、半導体装置10の温度変化に伴う半導体装置10の部材の変形が妨げられている場合、半導体装置10の部材には熱応力が発生する。具体的には、ボンディングワイヤ1は、ボンディングワイヤ1と異なる線膨張係数を有している熱硬化性樹脂5に封止されているため、半導体装置10の温度が変化した場合において変形することが妨げられている。このため、半導体装置10の温度が変化した場合、ボンディングワイヤ1には熱応力が発生する。

40

【0043】

半導体装置10の温度が変化した場合、第1ループ部101において、第1部分14による第1部分14に沿う方向への熱応力および第2部分15による第2部分15に沿う方向への熱応力が第1屈曲部13に発生する。すなわち、第1屈曲部13が屈曲しているため、半導体装置10の温度変化に伴って、第1屈曲部13に2つの異なる方向への熱応力が発生する。よって、第1屈曲部13には、集中して熱応力が発生する。

【0044】

第1屈曲部13に発生する熱応力が大きい場合、第1屈曲部13にクラックが発生し得

50

る。クラックは、半導体装置 10 の温度変化が繰り返されることにより、徐々に進展し得る。クラックが進展した場合、ボンディングワイヤ 1 が寸断され得る。

【0045】

一方で、図 1 に示されるように、本実施の形態に係る半導体装置 10 においては、第 1 屈曲部 13 は、熱硬化性樹脂 5 よりも低い弾性率を有している封止材 4 に覆われている。このため、第 1 屈曲部 13 の変形は、比較例よりも妨げられていない。よって、第 1 屈曲部 13 に熱応力が集中することが緩和されている。したがって、第 1 屈曲部 13 にクラックが発生し、進展することが抑制されている。

【0046】

半導体装置 10 の製造方法について

次に、図 4 を参照して本実施の形態に係る半導体装置 10 の製造方法を説明する。半導体装置 10 の製造方法は、封止材 4 に覆われる工程 S 11 と、熱硬化性樹脂 5 に封止される工程 S 12 とを含んでいる。封止材 4 に覆われる工程 S 11 において、ボンディングワイヤ 1 の第 1 ループ部 101 の第 1 屈曲部 13 が封止材 4 に覆われる。熱硬化性樹脂 5 に封止される工程 S 12 において、回路基板 2 と、半導体素子 3 と、ボンディングワイヤ 1 と、封止材 4 とが、熱硬化性樹脂 5 に封止される。

【0047】

図 1 に示されるボンディングワイヤ 1、回路基板 2、半導体素子 3、ベース板 6、上側接合材 7a および下側接合材 7b が、以下の過程によって接合される。回路基板 2 の上側導体パターン 22 が、上側接合材 7a によって半導体素子 3 と接合される。回路基板 2 の下側導体パターン 23 が、下側接合材 7b によってベース板 6 と接合される。ボンディングワイヤ 1 の第 1 接続部 11 が、超音波接合によって半導体素子 3 に接合される。第 2 接続部 12 が、超音波接合によって半導体素子 3 または回路基板 2 と接合される。本実施の形態においては、第 2 接続部 12 が回路基板 2 と接合される。半導体素子 3 およびベース板 6 が回路基板 2 に接合されてから、ボンディングワイヤ 1 が回路基板 2 および半導体素子 3 に接合されてもよい。ボンディングワイヤ 1 が回路基板 2 および半導体素子 3 に接合されてから、半導体素子 3 およびベース板 6 が回路基板 2 に接合されてもよい。

【0048】

封止材 4 に覆われる工程 S 11 において、封止材 4 が、例えば、ディスペンサなどによってボンディングワイヤ 1 に滴下されることにより、塗布される。これにより、図 1 に示されるように、ボンディングワイヤ 1 の第 1 ループ部 101 の第 1 屈曲部 13 が封止材 4 に覆われる。

【0049】

封止材 4 が第 1 屈曲部 13 に塗布される方法は、ディスペンサなどには限られない。第 1 屈曲部 13 が封止材 4 に浸漬されることによって封止材 4 が塗布されてもよい。例えば、液体状の封止材 4 が満たされた容器が準備され、台などの上に設置されてもよい。半導体素子 3、ベース板 6 およびボンディングワイヤ 1 が接合された回路基板 2 が、ボンディングワイヤ 1 が回路基板 2 の下側に位置するように保持される。半導体素子 3、ベース板 6 およびボンディングワイヤ 1 が接合された回路基板 2 のボンディングワイヤ 1 の第 1 ループ部 101 の第 1 屈曲部 13 のみが、封止材 4 が満たされた容器に浸され、封止材 4 が塗布される。その後、半導体素子 3、ベース板 6 およびボンディングワイヤ 1 が接合された回路基板 2 が持ち上げられる。これにより、第 1 ループ部 101 の第 1 屈曲部 13 に封止材 4 が塗布されたボンディングワイヤ 1 が得られる。

【0050】

ボンディングワイヤ 1 に封止材 4 が塗布されてから、熱硬化性樹脂 5 に封止される工程 S 12 において、図 1 に示されるように、回路基板 2 と、半導体素子 3 と、ボンディングワイヤ 1 と、封止材 4 とが、熱硬化性樹脂 5 に封止される。

【0051】

作用効果について

本実施の形態に係る半導体装置 10 によれば、図 1 に示されるように、ボンディングワ

10

20

30

40

50

イヤ 1 の第 1 ループ部 1 0 1 の第 1 屈曲部 1 3 を覆う封止材 4 は、熱硬化性樹脂 5 よりも低い弾性率を有している。このため、第 1 屈曲部 1 3 が熱硬化性樹脂 5 で封止されている場合よりも封止材 4 の内部で変形しやすい。よって、第 1 屈曲部 1 3 が熱硬化性樹脂 5 に封止されている場合よりも第 1 屈曲部 1 3 に発生する熱応力を低減させることができる。したがって、第 1 屈曲部 1 3 でのクラックの進展を抑制できる。

【 0 0 5 2 】

温度変化に伴う第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 の変形量と、半導体素子 3 および回路基板 2 の変形量とは異なるため、第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 には、熱応力が発生し得る。本実施の形態の半導体装置 1 0 によれば、図 1 に示されるように、第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 は、熱硬化性樹脂 5 に封止されている。これにより、第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 を補強できる。また、第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 に発生する変形が熱硬化性樹脂 5 に分布することにより、熱応力が第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 に集中することを抑制できる。このため、第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 にクラックが発生し、進展することを抑制できる。また、第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 にクラックが発生することを遅らせることができる。したがって、ワイヤリフトオフが発生することを抑制できる。ワイヤリフトオフとは、温度変化に伴って第 1 接続部 1 1 または第 2 接続部 1 2 に繰り返し負荷された熱応力によって生じたクラックの進展によって、ボンディングワイヤ 1 が半導体素子 3 または回路基板 2 などから分離する現象である。

【 0 0 5 3 】

封止材 4 の材料が絶縁性を有するポリイミドなどである場合、封止材 4 も熱硬化性樹脂 5 と同様に、半導体装置 1 0 と半導体装置 1 0 の外部とを絶縁することができる。このため、封止材 4 がボンディングワイヤ 1 を覆っている場合においても、絶縁性が低下することを抑制できる。

【 0 0 5 4 】

封止材 4 および熱硬化性樹脂 5 の材料が異なっているため、封止材 4 および熱硬化性樹脂 5 のそれぞれの材料を適宜に選択できる。封止材 4 および熱硬化性樹脂 5 の材料を、求められる特性に応じて最適に選択できる。封止材 4 および熱硬化性樹脂 5 の材料は、例えば、絶縁性の有無、弾性率、線膨張係数、放熱性、接着強度第 1 ループ部 1 0 1 の形状または第 1 屈曲部 1 3 の曲率などに応じて、選択できる。

【 0 0 5 5 】

封止材 4 の線膨張係数とボンディングワイヤ 1 の線膨張係数との差が、熱硬化性樹脂 5 の線膨張係数とボンディングワイヤ 1 の線膨張係数との差よりも小さくなるように、封止材 4 および熱硬化性樹脂 5 の材料を選択できる。これにより、ボンディングワイヤ 1 に発生する熱応力を低減させることができる。

【 0 0 5 6 】

本実施の形態の変形例に係る半導体装置 1 0 によれば、図 2 に示されるように、第 1 屈曲部 1 3 および第 2 屈曲部 1 7 のそれぞれが第 1 封止部 4 a および第 2 封止部 4 b のそれぞれによって覆われているため、封止材 4 の材料を第 1 屈曲部 1 3 および第 2 屈曲部 1 7 に応じて選択できる。このため、封止材 4 を最適に選択できる。

【 0 0 5 7 】

本実施の形態に係る半導体装置 1 0 の製造方法によれば、第 1 屈曲部 1 3 は、熱硬化性樹脂 5 よりも低い弾性率を有する封止材 4 に覆われてから、熱硬化性樹脂 5 に封止される。このため、第 1 屈曲部 1 3 に発生する熱応力を低減させることができる。これにより、第 1 屈曲部 1 3 でのクラックの進展を抑制できる。

【 0 0 5 8 】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 は、特に説明しない限り、上記の実施の形態 1 と同一の構成、製造方法および作用効果を有している。したがって、上記の実施の形態 1 と同一の構成には同一の符号を付し、説明を繰り返さない。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

図 5 を用いて、実施の形態 2 に係る半導体装置 1 0 の構成を説明する。図 5 は、実施の形態 2 に係る半導体装置 1 0 の構成を概略的に示す断面図である。本実施の形態において、封止材 4 は、ボンディングワイヤ 1 の第 1 接続部 1 1 から第 1 ループ部 1 0 1 の上端までの高さの半分の高さ位置 H よりも上側に位置している。封止材 4 は、第 1 接続部 1 1 から第 1 ループ部 1 0 1 の上端までの高さの半分の高さ位置 H よりも下側に位置していない。封止材 4 の一部は、第 1 ループ部 1 0 1 の上端の高さよりも上側に位置している。

【 0 0 6 0 】

図 5 に示されるように、第 1 屈曲部 1 3 は、第 1 接続部 1 1 から第 1 ループ部 1 0 1 の上端までの高さの半分の高さ位置 H よりも上側に位置している。第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 は、第 1 接続部 1 1 から第 1 ループ部 1 0 1 の上端までの高さの半分の高さ位置 H よりも下側に位置している。第 1 ループ部 1 0 1 の上半分の少なくとも一部は、封止材 4 に覆われている。第 1 ループ部 1 0 1 の下半分は、封止材 4 に覆われていない。

10

【 0 0 6 1 】

次に、図 6 を用いて、実施の形態 2 の変形例に係る半導体装置 1 0 の構成を説明する。本実施の形態の変形例において、第 1 屈曲部 1 3 は、2 mm よりも大きい曲率半径を有している。図 6 に示されるように、第 1 屈曲部 1 3 は、第 1 大屈曲部 1 3 1 および第 2 大屈曲部 1 3 2 を有していてもよい。第 1 大屈曲部 1 3 1 と第 2 大屈曲部 1 3 2 とは、第 1 ループ部 1 0 1 の第 3 部分 1 8 によって繋がっている。第 1 部分 1 4、第 2 部分 1 5 および第 3 部分 1 8 は、例えば、2 mm 以下の曲率半径を有している。第 1 屈曲部 1 3 は、第 1 部分 1 4、第 2 部分 1 5 および第 3 部分 1 8 よりも大きい曲率半径を有している。

20

【 0 0 6 2 】

封止材 4 は、第 3 封止部 4 c および第 4 封止部 4 d を有している。封止材 4 は、第 1 ループ部 1 0 1 の大きい曲率半径を有している部分のみを覆っている。具体的には、第 3 封止部 4 c は、第 1 大屈曲部 1 3 1 を覆っている。第 4 封止部 4 d は、第 2 大屈曲部 1 3 2 を覆っている。

【 0 0 6 3 】

作用効果について

本実施の形態に係る半導体装置 1 0 によれば、図 5 に示されるように、封止材 4 が第 1 接続部 1 1 から第 1 ループ部 1 0 1 の上端までの半分の高さ位置 H よりも上側に位置しており、かつ高さ位置 H よりも下側に位置していないため、半導体装置 1 0 に含まれている封止材 4 の量を少なくできる。このため、半導体装置 1 0 の製造コストを小さくすることができる。

30

【 0 0 6 4 】

本実施の形態の変形例に係る半導体装置 1 0 によれば、第 1 屈曲部 1 3 が 2 mm よりも大きい曲率半径を有しているため、封止材 4 は 2 mm よりも小さい曲率半径を有している第 1 ループ部 1 0 1 の部分を覆っていない。このため、半導体装置 1 0 に含まれている封止材 4 の量をさらに少なくできる。よって、半導体装置 1 0 の製造コストを小さくすることができる。なお、本実施の形態における有利な効果が奏されるためには、第 1 屈曲部 1 3 に封止材 4 が塗布される量が適切に管理される必要がある。

40

【 0 0 6 5 】

実施の形態 3 .

実施の形態 3 は、特に説明しない限り、上記の実施の形態 1 と同一の構成、製造方法および作用効果を有している。したがって、上記の実施の形態 1 と同一の構成には同一の符号を付し、説明を繰り返さない。

【 0 0 6 6 】

図 7 を用いて、実施の形態 3 に係る半導体装置 1 0 の構成を説明する。図 7 は、実施の形態 3 に係る半導体装置 1 0 の構成を概略的に示す断面図である。封止材 4 は、第 1 屈曲部 1 3 と半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかとの間の領域を埋めて、半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかと接している。本実施の形態において

50

、封止材 4 は第 1 屈曲部 1 3 と半導体素子 3 および回路基板 2 との間の領域を埋めて、半導体素子 3 および回路基板 2 の両方と接している。

【 0 0 6 7 】

図 7 に示されるように、封止材 4 は、第 1 屈曲部 1 3 と、半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかの少なくとも一部とを一体的に覆っている。封止材 4 は、半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかと接着している。なお、封止材 4 が回路基板 2 の上側導体パターン 2 2 を覆っている場合、封止材 4 の材料は絶縁性を有している必要がある。封止材 4 は、第 1 接続部 1 1 および第 2 接続部 1 2 の近傍を除いて、第 1 ループ部 1 0 1 を覆っていてもよい。

【 0 0 6 8 】

本実施の形態に係る封止材 4 に覆われる工程 S 1 1 において、第 1 屈曲部 1 3 が封止材 4 に覆われる。また、第 1 屈曲部 1 3 と半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかとの間の領域が封止材 4 に埋められる。さらに、半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかと接するように封止材 4 が配置される。封止材 4 は、第 1 屈曲部 1 3 と半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかとの間の領域を埋めるように滴下される。

【 0 0 6 9 】

作用効果について

本実施の形態に係る半導体装置 1 0 によれば、図 7 に示されるように、封止材 4 が第 1 屈曲部 1 3 と半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかとの間の領域を埋め、半導体素子 3 および回路基板 2 の少なくともいずれかと接するように配置される。このため、封止材 4 が第 1 屈曲部 1 3 のみ塗布される場合よりも封止材 4 の量が多い。封止材 4 が塗布される量の許容されるばらつきは、大きい。このため、封止材 4 が塗布される量は、厳密に管理される必要がない。よって、半導体装置 1 0 の製造方法が簡易化されるため、半導体装置 1 0 の製造コストを小さくすることができる。

【 0 0 7 0 】

実施の形態 4 .

実施の形態 4 は、特に説明しない限り、上記の実施の形態 1 と同一の構成、製造方法および作用効果を有している。したがって、上記の実施の形態 1 と同一の構成には同一の符号を付し、説明を繰り返さない。

【 0 0 7 1 】

図 8 を用いて、実施の形態 4 に係る半導体装置 1 0 の構成を説明する。封止材 4 は、第 1 ループ部 1 0 1 の第 1 屈曲部 1 3 および第 2 ループ部 1 0 2 の第 2 屈曲部 1 7 を一体的に覆っている。本実施の形態において、封止材 4 の材料は、絶縁性を有している。ボンディングワイヤ 1 は、複数のループ部を含んでいる。

【 0 0 7 2 】

図 9 を用いて、実施の形態 4 の変形例に係る半導体装置 1 0 の構成を説明する。ボンディングワイヤ 1 は、複数のワイヤ部を含んでいる。具体的には、ボンディングワイヤ 1 は、第 1 ワイヤ部 1 a および第 2 ワイヤ部 1 b を含んでいる。第 1 屈曲部 1 3 は、第 1 ワイヤ部屈曲部 1 3 a および第 2 ワイヤ部屈曲部 1 3 b を有している。第 1 ワイヤ部屈曲部 1 3 a は、第 1 ワイヤ部 1 a に含まれている。第 2 ワイヤ部屈曲部 1 3 b は、第 2 ワイヤ部 1 b に含まれている。封止材 4 は、第 1 ワイヤ部屈曲部 1 3 a および第 2 ワイヤ部屈曲部 1 3 b を一体的に覆っている。

【 0 0 7 3 】

図 9 に示されるように、第 1 ワイヤ部 1 a は、第 2 ワイヤ部 1 b と電氣的に接続している。第 1 ワイヤ部 1 a は、第 1 ワイヤ部ループ部 1 0 1 a を有している。第 2 ワイヤ部 1 b は、第 2 ワイヤ部ループ部 1 0 1 b を有している。第 1 接続部 1 1 は、第 1 ワイヤ部第 1 接続部 1 1 a および第 2 ワイヤ部第 1 接続部 1 1 b を有している。第 2 接続部 1 2 は、第 1 ワイヤ部第 2 接続部 1 2 a および第 2 ワイヤ部第 2 接続部 1 2 b を有している。第 1 ワイヤ部第 1 接続部 1 1 a および第 1 ワイヤ部第 2 接続部 1 2 a は、第 1 ワイヤ部 1 a に

10

20

30

40

50

含まれている。第2ワイヤ部第1接続部11bおよび第2ワイヤ部第2接続部12bは、第2ワイヤ部1bに含まれている。第1ワイヤ部屈曲部13aは、第1ワイヤ部第1接続部11aと第1ワイヤ部第2接続部12aとの間に位置している第1ワイヤ部ループ部101aに含まれている。第2ワイヤ部屈曲部13bは、第2ワイヤ部第1接続部11bと第2ワイヤ部第2接続部12bとの間に位置している第2ワイヤ部ループ部101bに含まれている。

【0074】

作用効果について

本実施の形態に係る半導体装置10によれば、図8に示されるように、封止材4が第1ループ部101の第1屈曲部13および第2ループ部102の第2屈曲部17を一体的に覆っているため、封止材4によって覆われる工程S11において、第1屈曲部13および第2屈曲部17が封止材4によって同時に覆われ得る。このため、第1屈曲部13および第2屈曲部17のそれぞれが個別に覆われるよりも、製造プロセスを簡易化できる。よって、ボンディングワイヤ1が複数のループ部を含んでいる場合においても、半導体装置10の製造コストを小さくすることができる。

10

【0075】

図8に示されるように、封止材4が第1屈曲部13および第2屈曲部17を覆っているため、第1屈曲部13および第2屈曲部17のそれぞれにおいて、クラックの進展を抑制することができる。また、複数のループ部のそれぞれにおいて、クラックの進展を抑制することができる。

20

【0076】

本実施の形態の変形例に係る半導体装置10によれば、図9に示されるように、ボンディングワイヤ1が第1ワイヤ部屈曲部13aおよび第2ワイヤ部屈曲部13bを一体的に覆っているため、封止材4によって覆われる工程S11において、第1ワイヤ部屈曲部13aおよび第2ワイヤ部屈曲部13bが封止材4によって同時に覆われ得る。このため、第1ワイヤ部屈曲部13aおよび第2ワイヤ部屈曲部13bのそれぞれが個別に覆われるよりも、製造プロセスを簡易化できる。よって、ボンディングワイヤ1が複数のワイヤ部を有している場合においても、半導体装置10の製造コストを小さくすることができる。

【0077】

図9に示されるように、封止材4が第1ワイヤ部屈曲部13aおよび第2ワイヤ部屈曲部13bを覆っているため、第1ワイヤ部1aおよび第2ワイヤ部1bのそれぞれについて、クラックの進展を抑制することができる。また、複数のワイヤ部のそれぞれにおいて、クラックの進展を抑制することができる。

30

【0078】

実施の形態5.

本実施の形態は、上述した実施の形態1～4にかかる半導体装置を電力変換装置に適用したものである。本発明は特定の電力変換装置に限定されるものではないが、以下、実施の形態5として、三相のインバータに本発明を適用した場合について説明する。

【0079】

図10は、本実施の形態にかかる電力変換装置を適用した電力変換システムの構成を示すブロック図である。

40

【0080】

図10に示す電力変換システムは、電源100、電力変換装置200、負荷300から構成される。電源100は、直流電源であり、電力変換装置200に直流電力を供給する。電源100は種々のもので構成することが可能であり、例えば、直流系統、太陽電池、蓄電池で構成することができるし、交流系統に接続された整流回路やAC/DCコンバータで構成することとしてもよい。また、電源100を、直流系統から出力される直流電力を所定の電力に変換するDC/DCコンバータによって構成することとしてもよい。

【0081】

電力変換装置200は、電源100と負荷300の間に接続された三相のインバータで

50

あり、電源 100 から供給された直流電力を交流電力に変換し、負荷 300 に交流電力を供給する。電力変換装置 200 は、図 10 に示すように、直流電力を交流電力に変換して出力する主変換回路 201 と、主変換回路 201 を制御する制御信号を主変換回路 201 に出力する制御回路 203 とを備えている。

【0082】

負荷 300 は、電力変換装置 200 から供給された交流電力によって駆動される三相の電動機である。なお、負荷 300 は特定の用途に限られるものではなく、各種電気機器に搭載された電動機であり、例えば、ハイブリッド自動車や電気自動車、鉄道車両、エレベーター、もしくは、空調機器向けの電動機として用いられる。

【0083】

以下、電力変換装置 200 の詳細を説明する。主変換回路 201 は、スイッチング素子と還流ダイオードを備えており（図示せず）、スイッチング素子がスイッチングすることによって、電源 100 から供給される直流電力を交流電力に変換し、負荷 300 に供給する。主変換回路 201 の具体的な回路構成は種々のものがあるが、本実施の形態にかかる主変換回路 201 は 2 レベルの三相フルブリッジ回路であり、6 つのスイッチング素子とそれぞれのスイッチング素子に逆並列された 6 つの還流ダイオードから構成することができる。主変換回路 201 の各スイッチング素子や各還流ダイオードは、上述した実施の形態 1 ~ 4 のいずれかに相当する半導体モジュール 202 によって構成する。6 つのスイッチング素子は 2 つのスイッチング素子ごとに直列接続され上下アームを構成し、各上下アームはフルブリッジ回路の各相（U 相、V 相、W 相）を構成する。そして、各上下アームの出力端子、すなわち主変換回路 201 の 3 つの出力端子は、負荷 300 に接続される。

【0084】

また、主変換回路 201 は、各スイッチング素子を駆動する駆動回路（図示なし）を備えているが、駆動回路は半導体モジュール 202 に内蔵されていてもよいし、半導体モジュール 202 とは別に駆動回路を備える構成であってもよい。駆動回路は、主変換回路 201 のスイッチング素子を駆動する駆動信号を生成し、主変換回路 201 のスイッチング素子の制御電極に供給する。具体的には、後述する制御回路 203 からの制御信号に従い、スイッチング素子をオン状態にする駆動信号とスイッチング素子をオフ状態にする駆動信号とを各スイッチング素子の制御電極に出力する。スイッチング素子をオン状態に維持する場合、駆動信号はスイッチング素子の閾値電圧以上の電圧信号（オン信号）であり、スイッチング素子をオフ状態に維持する場合、駆動信号はスイッチング素子の閾値電圧以下の電圧信号（オフ信号）となる。

【0085】

制御回路 203 は、負荷 300 に所望の電力が供給されるよう主変換回路 201 のスイッチング素子を制御する。具体的には、負荷 300 に供給すべき電力に基づいて主変換回路 201 の各スイッチング素子がオン状態となるべき時間（オン時間）を算出する。例えば、出力すべき電圧に応じてスイッチング素子のオン時間を変調する PWM 制御によって主変換回路 201 を制御することができる。そして、各時点においてオン状態となるべきスイッチング素子にはオン信号を、オフ状態となるべきスイッチング素子にはオフ信号が出力されるよう、主変換回路 201 が備える駆動回路に制御指令（制御信号）を出力する。駆動回路は、この制御信号に従い、各スイッチング素子の制御電極にオン信号又はオフ信号を駆動信号として出力する。

【0086】

本実施の形態に係る電力変換装置では、主変換回路 201 のスイッチング素子と還流ダイオードとして実施の形態 1 ~ 4 にかかる半導体モジュールを適用するため、ボンディングワイヤの第 1 屈曲部でのクラックの発生およびその進展を抑制することができる。

【0087】

本実施の形態では、2 レベルの三相インバータに本発明を適用する例を説明したが、本発明は、これに限られるものではなく、種々の電力変換装置に適用することができる。本実施の形態では、2 レベルの電力変換装置としたが 3 レベルやマルチレベルの電力変換装

10

20

30

40

50

置であっても構わないし、単相負荷に電力を供給する場合には単相のインバータに本発明を適用しても構わない。また、直流負荷等に電力を供給する場合にはDC/DCコンバータやAC/DCコンバータに本発明を適用することも可能である。

【0088】

また、本発明を適用した電力変換装置は、上述した負荷が電動機の場合に限定されるものではなく、例えば、放電加工機やレーザー加工機、又は誘導加熱調理器や非接触給電システムの電源装置として用いることもでき、さらには太陽光発電システムや蓄電システム等のパワーコンディショナーとして用いることも可能である。

【0089】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

【0090】

1 ボンディングワイヤ、1 a 第1ワイヤ部、1 b 第2ワイヤ部、2 回路基板、3 半導体素子、4 封止材、5 熱硬化性樹脂、10 半導体装置、11 第1接続部、12 第2接続部、13 第1屈曲部、13 a 第1ワイヤ部屈曲部、13 b 第2ワイヤ部屈曲部、16 第3接続部、17 第2屈曲部、100 電源、101 第1ループ部、102 第2ループ部、200 電力変換装置、201 主変換回路、202 半導体モジュール、203 回路基板、300 負荷、H 高さ位置。

10

20

30

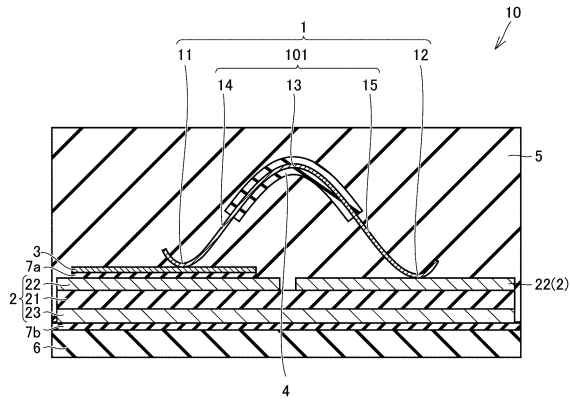
40

50

【図面】

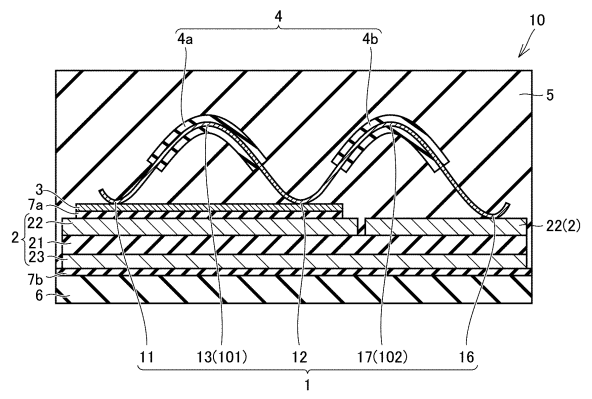
【図 1】

図1



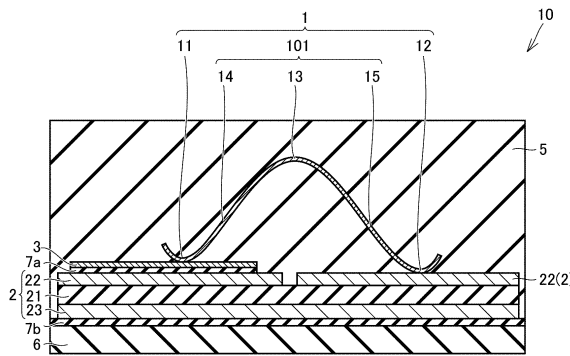
【図 2】

図2



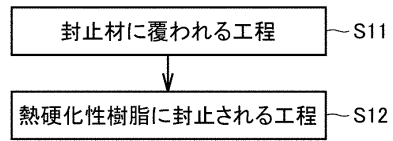
【図 3】

図3



【図 4】

図4



10

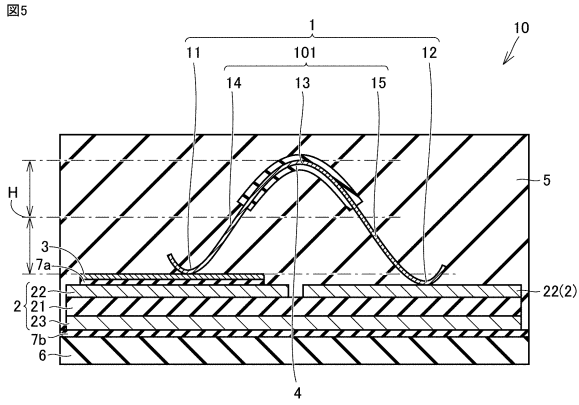
20

30

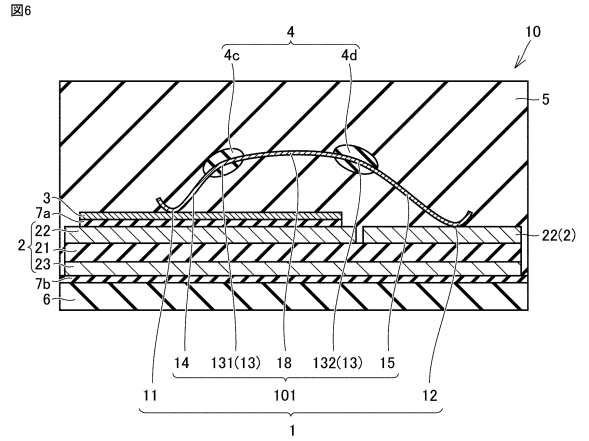
40

50

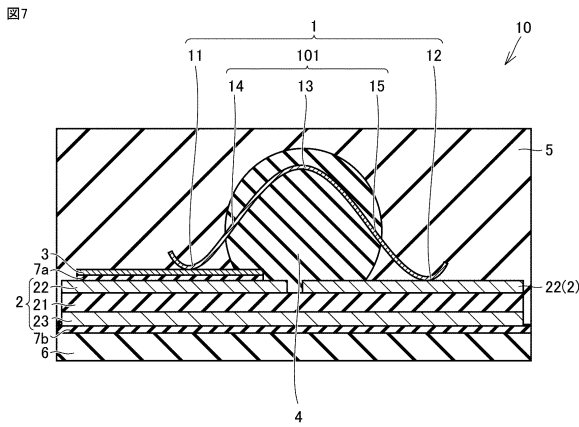
【 図 5 】



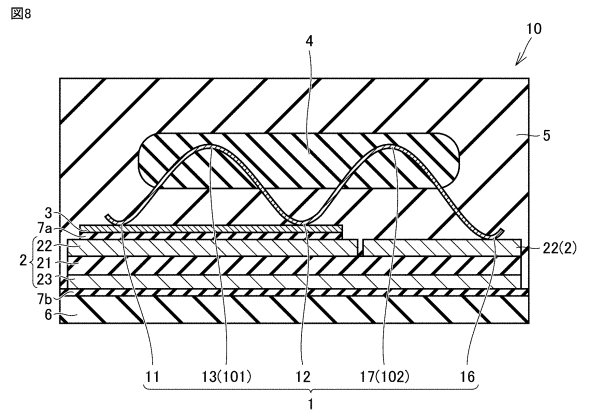
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



10

20

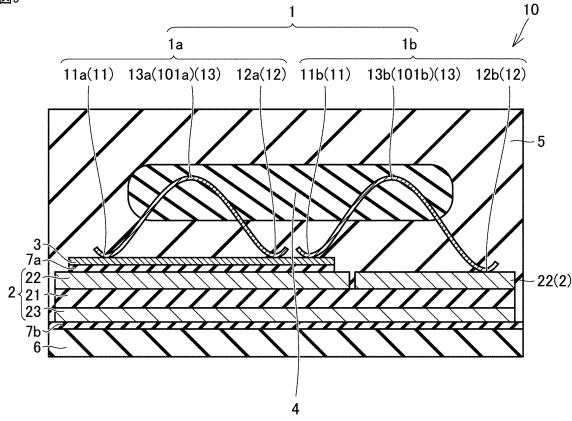
30

40

50

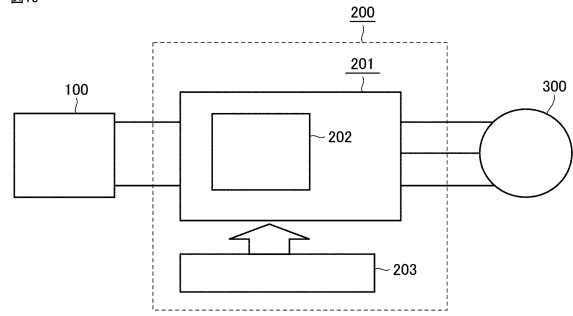
【 図 9 】

図9



【 図 1 0 】

図10



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-100997(JP,A)
国際公開第2018/211751(WO,A1)
特開2017-224778(JP,A)
特開2013-058606(JP,A)
特開平06-333970(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 23/48
H01L 23/29
H01L 25/07