明　細　書

窒化けい素回路基板および半導体モジュール

技術分野

本発明は、半導体実装回路基板や半導体パッケージ等として有用な窒化けい素回路基板および半導体モジュールに関する。

背景技術

近年、パワートランジスタモジュールなどの半導体モジュールやスイッチング電源モジュール等の比較的高電力を扱う半導体部品の搭載用基板等として、セラミックス基板上に銅板等の金属板（金属回路板）を接合したセラミックス回路基板が用いられている。

上述したようなセラミックス回路基板の製造工程におけるセラミックス基板と所定形状に打ち抜いた金属板との接合方法としては、Ｔｉ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｎｂ等の活性金属をＡｇ－Ｃｕろう材等に１～１０％含有した活性金属ろう材を用いる方法（活性金属法）や、金属板として酸素を１００～１０００ppm 含有するタフピッチ電解銅や表面を１～１０μｍの厚さで酸化させた銅を用いてセラミックス基板と銅板とを直接接合させる、いわゆる直接接合法（ＤＢＣ法：ダイレクト・ボンディング・カッパー法）等が知られている。

例えば直接接合法においては、まず所定形状に打ち抜かれた厚さ０．３～０．５㎜の銅回路板を、酸化アルミニウム（Al_2O_3）焼結体や窒化アルミニウム（ＡｌＮ）焼結体等からなる厚さ０．６～１．０㎜セラミックス基板上に接触配置させて加熱し、接合界面に$Cu-Cu_2O$の共晶液相を生成させ、この液相でセラミックス基板の表面を濡らした後、液相を冷却固化することによって、セラミックス基板と銅回路板とが直接接合される。このような直接接合法

を適用したセラミックス回路基板は、セラミックス基板と銅回路板との接合強度が強く、またメタライズ層やろう材層を必要としない単純構造なので小型高実装化が可能である等の長所を有しており、また製造工程の短縮化も図られている。

しかしながら、上述した直接接合法や活性金属法等により金属板をセラミックス基板に接合したセラミックス回路基板においては、大電流を流せるように金属板の厚さを0．3～0．5mmと厚くしている場合が多いため、熱履歴に対して信頼性に乏しいという問題があった。すなわち、熱膨張率が大きく異なるセラミックス基板と金属板とを接合すると、接合後の冷却過程や冷熱サイクルの付加により、上記熱膨張差に起因する熱応力が発生する。この応力は接合部付近のセラミックス基板側に圧縮と引張りの残留応力分布として存在し、特に金属板の外周端部と近接するセラミックス部分に残留応力の主応力が作用する。この残留応力は、セラミックス基板にクラックを生じさせたり、絶縁耐圧不良を起こしたり、あるいは金属板剥離の発生原因等となる。また、セラミックス基板にクラックが生じないまでも、セラミックス基板の強度を低下させるという悪影響を及ぼす。

また、最近の半導体素子の高密度化や高集積化に伴って、半導体モジュールや電子部品自体の小型化が進められている。このような状況に伴い、半導体実装基板にも小型化が求められている。

ここで、特に窒化アルミニウム基板は他のセラミックス基板と比較して高い熱伝導性と低熱膨張特性とを有するが、機械的強度の点で満足するものが得られていないため、回路基板の実装工程において付加されるわずかな押圧力や衝撃力によって、回路基板が破損し易く、半導体装置の製造歩留りが大幅に減少させる場合がある。

そのため従来の半導体モジュールにおいては、セラミックス基板の厚さを大きくすることおよび回路基板に対する補強部材を一体化することが必須の要件

となっていた。図４は、このような従来の半導体モジュール１０１の構造を示す断面図である。図４に示す半導体モジュール１０１は、厚さが大きく、熱伝導率が高いＡｌＮ焼結体から成るセラミックス基板１０２の表面側に金属回路板１０３を接合する一方、セラミックス基板１０２の下面側に裏銅板としての金属板１０４を一体に接合して形成される。また金属回路板１０３の所定位置には、半導体素子１０７が半田接合によって搭載されており、半導体素子１０７と金属回路板１０３の電極部とがボンディングワイヤ１０８によって電気的に接続されている。

上記のように組み立てられたセラミックス回路基板は、例えば銅から成る厚いヒートシンク板１０５の表面に半田接合により一体化されて図４に示すような半導体モジュール１０１が形成される。この半導体モジュール１０１は、取付ねじ１０６の締着によって機器ケーシング１０９や放熱フィンまたは実装ボード上に固着される。

しかしながら、上記従来の半導体モジュール１０１やセラミックス回路基板においては、放熱性を改善し、かつセラミックス基板の割れを防止するヒートシンク板が必須となる上に、割れに対する耐力を高めるために厚さが大きいセラミックス基板を使用する必要があるため、半導体モジュールとした場合のサイズが大きくなり、小型化が困難になる弊害があるとともに、セラミックス基板の製造コストが増加する難点があった。また基板厚さが増加するため、高熱伝導率のＡｌＮ基板を使用した場合においても、熱抵抗が大きくなり、期待する程に良好な放熱性が得られないという問題点もあった。

本発明は、このような課題に対処するためになされたもので、裏銅板（裏金属板）と、ヒートシンク板との両方は必要とせず構造が簡素で小型化でき、かつ放熱性および耐熱サイクル性等を改善した半導体モジュールを提供することを第１の目的としている。

一方、最近の半導体素子の高密度化や高集積化に伴って、半導体モジュール

や電子部品自体の小型化が求められていると共に、高実装化を計るために、実装部や回路構成部の面積の増大が求められている。

しかしながら、従来のセラミックス回路基板では、セラミックス基板の一方の主面を実装面として使用しているにすぎないため、実装部や回路構成部の増大を図るためにはセラミックス基板自体を大型化する必要があるが、セラミックス基板を大型化すると、銅回路板を接合する際にセラミックス基板に反りが生じ易くなる等の問題を招いてしまう。また、セラミックス基板の単純な大型化は、実装基板や電子部品自体に対する小型化要求に反することとなる。

上述したように、従来のセラミックス回路基板においては、実装部や回路構成部の面積を増大するにはセラミックス基板を大型化しなければならず、これに伴って銅回路板の接合不良を招いたり、電子部品の小型化要求に反する等の問題が生じている。また、半導体素子の多様化に伴って、半導体実装基板や半導体パッケージに対する要求特性も多岐に亘り、それら種々の要求を満足させることが求められている。

一方、半導体素子の高集積化、高出力化、大型化が進展し、素子から発熱する熱を効率的に系外に放散できる回路基板構造や熱応力に耐える高強度の回路基板構造を求める技術的要請が高まっている。そこでセラミックス基板として従来のアルミナ（Al_2O_3）基板よりも高強度を有する窒化けい素（Si_3N_4）基板を用いることも試行された。しかしながら、Si_3N_4基板は、靭性値などの機械的強度は優れているものの熱伝導性が窒化アルミニウム基板などと比較して著しく低いため、特に放熱性を要求される半導体用回路基板の構成材としては実用化されていない。

一方、窒化アルミニウム基板は他のセラミックス基板と比較して高い熱伝導性と低熱膨張特性とを有するが、機械的強度の点で満足するものが得られていないため、回路基板の実装工程において付加されるわずかな押圧力や衝撃力によって、回路基板が破損し易く、半導体装置の製造歩留りが大幅に減少させる

場合がある。

そのため従来のセラミックス回路基板においては、セラミックス基板の厚さを大きくすることが必須の要件となっていた。図７は、このような従来のセラミックス回路基板２０１の構造を示す断面図である。図７に示すセラミックス回路基板２０１は、厚さが大きく、熱伝導率が高いＡｌＮ焼結体から成る２枚のセラミックス基板２０２ａ，２０２ｂを金属回路板としての銅板２０４を介して接合し、さらにセラミックス基板２０２ｂ上面に銅板２０３を接合する一方、セラミックス基板２０２ａの下面側に裏銅板としての金属板２０５を一体に接合して形成される。また銅板２０３の所定位置には、半導体素子２０７が半田接合によって搭載されており、半導体素子２０７と銅板２０３の電極部とがボンディングワイヤ２０８によって電気的に接続されている。

このように、上記従来のセラミックス（ＡｌＮ）回路基板２０１においては、割れに対する耐力を高めるために厚さが大きいセラミックス基板２０２ａ，２０２ｂを使用する必要があるため、半導体モジュールとした場合のサイズが大きくなり、小型化が困難になる弊害があるとともに、セラミックス基板の製造コストが大幅に増加する難点があった。また基板厚さが増加するため、高熱伝導率のＡｌＮ基板を使用した場合においても、熱抵抗が大きくなり、期待する程に良好な放熱性が得られないという問題点もあった。

本発明は、このような課題に対処するためになされたもので、放熱性に優れ、実装部や回路構成部の面積の増大を図った上で小型化でき、さらに耐熱サイクル性等を改善した信頼性に優れる窒化けい素回路基板を提供することを第２の目的としている。

発明の開示

本発明に係る半導体モジュールは、熱伝導率が６０ｗ／ｍ・ｋ以上である高熱伝導性窒化けい素基板と、この高熱伝導性窒化けい素基板に搭載された半導

体素子と、この高熱伝導性窒化けい素基板の半導体素子搭載面側に接合された金属回路板と、上記高熱伝導性窒化けい素基板の半導体素子非搭載面側に接合され、かつ機器ケーシングあるいは実装ボードに接合される金属板とを具備することを特徴としている。

上述した本発明の半導体モジュールのより好ましい形態としては、機器ケーシングあるいは実装ボードに接合される金属板の厚さが前記金属回路板の厚さ以下である形態、機器ケーシングあるいは実装ボードに接合される金属板の厚さが前記金属回路板の厚さの２倍以上である形態、前記金属板が前記高熱伝導性窒化けい素基板に直接接合法により接合されている形態、さらには前記金属板が前記高熱伝導性窒化けい素基板に活性金属法により接合されている形態が挙げられる。

また本発明の窒化けい素回路基板は、熱伝導率が６０w／m・k以上である複数の高熱伝導性窒化けい素基板と、この高熱伝導性窒化けい素基板に接合された金属板とを具備し、前記複数の高熱伝導性窒化けい素基板が前記金属板を介して多層化された部分を有することを特徴としている。

上述した窒化けい素回路基板のより好ましい形態としては、前記金属板が前記高熱伝導性窒化けい素基板に直接接合法により接合されている形態、前記金属板が前記高熱伝導性窒化けい素基板に活性金属法により接合されている形態が挙げられる。

また本発明に係る窒化けい素回路基板は、熱伝導率が６０W／m・K以上である高熱伝導性窒化けい素基板と熱伝導率が６０W／m・K未満である基板とが同一平面上に配置されているとともに、少なくとも上記熱伝導率が６０W／m・K以上の高熱伝導性窒化けい素基板に金属回路板が接合されていることを特徴とする。

ここで上記熱伝導率が６０W／m・K未満の基板としては、アルミナ（Al_2O_3）基板や樹脂基板等を使用することができる。

また上記高熱伝導性窒化けい素基板および熱伝導率６０W／m・K未満の汎用で製造容易で安価な基板の裏面に形成した酸化層を介して金属板を接合するとよい。さらに金属板は酸化層を介して高熱伝導性窒化けい素基板および汎用で安価な基板の両方に亘って直接接合する構造でもよい。

すなわち、本発明の窒化けい素回路基板は、熱伝導性，強度，靭性に優れる窒化けい素基板と、汎用で製造容易で安価な基板とを組合せることによって、強度および放熱性を維持しながら製造容易で安価な回路基板、すなわち複合化した窒化けい素回路基板を得ることを可能にとしたものである。

上記高熱伝導性窒化けい素基板および熱伝導率が６０W／m・K未満である基板の配置形態は大別して３種類に分かれる。すなわち、同一平面上に両基板を隣接して配置する形態と、両基板を積層してサンドイッチ構造を有するように配置する形態と、アルミナ基盤や樹脂基板の表面に、複数の高熱伝導性窒化けい素基板を配置する形態とがあるが、要求特性に応じて上記各形態を併用してもよい。

例えば、高発熱部品である半導体素子を搭載する部位に高熱伝導性窒化けい素基板を配置することによって、回路基板全体の良好な放熱性を確保することができる。また機械的圧力や機械的応力等が直接作用する表面部を高強度・高靭性の窒化けい素基板で構成することによって、アッセンブリ工程での締め付け割れや熱サイクルの付加に伴うクラック発生等を抑制することが可能となる。

さらに上記窒化けい素回路基板において、前記高熱伝導性窒化けい素基板および前記汎用で製造容易で安価な基板の表面に形成したＴｉ，Ｚｒ，ＨｆおよびＮｂから選択される少なくとも１種の活性金属を含有する金属接合層を介して金属回路板を接合してもよい。

また高熱伝導性窒化けい素基板および汎用で製造容易で安価な基板の裏面に形成した金属接合層を介して金属板を接合してもよい。さらに金属回路板の厚さを金属板の厚さより大きく設定するとよい。また金属板は金属接合層を介し

て高熱伝導性窒化けい素基板および汎用で安価な基板の両方に亘って接合するとよい。さらに少なくとも１枚の金属回路板が金属接合層を介して高熱伝導性窒化けい素基板および汎用で安価な基板の両方に亘って接合されるように構成するとよい。

また本発明で使用する高熱伝導性窒化けい素基板は、稀土類元素を酸化物に換算して、１．０～１７．５重量%、不純物陽イオン元素としてのＬｉ，Ｎａ，Ｋ，Ｆｅ，Ｃａ，Ｓｒ，Ｂａ，Ｍｎ，Ｂを合計で１．０重量%以下、好ましくは０．３重量%以下（検出限界としての０重量%を含む。）含有するように構成することができる。

なお、上記希土類元素酸化物の含有範囲である１．０～１７．５重量%は、数学的な表示として当然のことであるが、含有量の下限値である１．０重量%および上限値である１７．５重量%を含むものである。以下、他の成分範囲についても同様である。

また他の態様として高熱伝導性窒化けい素基板は、希土類元素を酸化物に換算して１．０～１７．５重量%含有し、窒化けい素結晶相および粒界相から成るとともに粒界相中における結晶化合物相の粒界相全体に対する割合が２０%以上、好ましくは５０%以上である窒化けい素焼結体から形成してもよい。

さらに上記希土類元素としてはランタノイド系列の元素を使用することが熱伝導率を向上させるために、特に好ましい。

また本発明において使用する高熱伝導性窒化けい素基板は、Ｔｉ，Ｚｒ，Ｈｆ，Ｖ，Ｎｂ，Ｔａ，Ｃｒ，Ｍｏ，Ｗからなる群より選択される少なくとも１種を酸化物に換算して０．１～３．０重量%含有することが好ましい。このＴｉ，Ｚｒ，Ｈｆ，Ｖ，Ｎｂ，Ｔａ，Ｃｒ，Ｍｏ，Ｗから成る群より選択される少なくとも１種は、酸化物、炭化物、窒化物、けい化物、硼化物として窒化けい素粉末に添加することにより含有させることができる。

さらに本発明で使用する高熱伝導性窒化けい素基板の製造方法は、酸素を１．

７重量%以下、不純物陽イオン元素としてのＬｉ，Ｎａ，Ｋ，Ｆｅ，Ｃａ，Ｓｒ，Ｂａ，Ｍｎ，Ｂを合計で１．０重量%以下、好ましくは０．３重量%以下、α相型窒化けい素を９０重量%以上含有し、平均粒径１．０μｍ以下の窒化けい素粉末に、希土類元素を酸化物に換算して１．０～１７．５重量%以下を添加した原料混合体を成形して成形体を調製し、得られた成形体を脱脂後、温度１８００～２１００℃で雰囲気加圧焼結し、上記焼結温度から、上記希土類元素により焼結時に形成された液相が凝固する温度までに至る焼結体の冷却速度を毎時１００℃以下にして徐冷することにより得ることができる。

上記製造方法によれば、窒化けい素結晶組織中に希土類元素等を含む粒界相が形成され、気孔率が２．５%以下、熱伝導率が６０Ｗ／ｍ・Ｋ以上、三点曲げ強度が室温で６５０ＭＰａ以上の機械的特性および熱伝導特性が共に優れた窒化けい素基板が得られる。

なお、本発明で使用する高熱伝導性窒化けい素基板において、上記不純物陽イオン元素の含有量が、数学的な意味において完全に０重量%となることは有り得ない。したがって、本願発明において規定する不純物イオン元素の含有量は、実質上、検出限界のレベルに拘らず検出限界としての０重量%を含むものである。

さらに、β相型と比較して焼結性に優れたα相型窒化けい素を９０重量%以上含有する窒化けい素原料粉末を使用することにより、高密度の窒化けい素基板を製造することができる。

また窒化けい素原料粉末に焼結助剤として添加する希土類元素としては、Ｈｏ，Ｅｒ，Ｙｂ，Ｙ，Ｌａ，Ｓｃ，Ｐｒ，Ｃｅ，Ｎｄ，Ｄｙ，Ｓｍ，Ｇｄなどの酸化物もしくは焼結操作により、これらの酸化物となる物質が単独で、または２種以上の酸化物を組み合せたものを含んでもよいが、特に酸化ホルミウム（Ho_2O_3），酸化エルビウム（Er_2O_3）が好ましい。

特に希土類元素としてランタノイド系列の元素であるＨｏ，Ｅｒ，Ｙｂを使

用することにより、焼結性あるいは高熱伝導化が良好になり、１８５０℃程度の低温度領域においても十分に緻密な焼結体が得られる。したがって焼成装置の設備費およびランニングコストを低減できる効果も得られる。これらの焼結助剤は、窒化けい素原料粉末と反応して液相を生成し、焼結促進剤として機能する。

上記焼結助剤の添加量は、酸化物換算で原料粉末に対して１．０～１７．５重量%の範囲とする。この添加量が１．０重量%未満の場合は、焼結体の緻密化が不十分であり、特に希土類元素がランタノイド系元素のように原子量が大きい元素の場合には、比較的低強度で比較的に低熱伝導率の焼結体が形成される。一方、添加量が１７．５重量%を超える過量となると、過量の粒界相が生成し、熱伝導率の低下や強度が低下し始めるので上記範囲とする。特に同様の理由により４～１５重量%とすることが望ましい。

また上記製造方法において他の選択的な添加成分として使用するＴｉ，Ｚｒ，Ｈｆ，Ｖ，Ｎｂ，Ｔａ，Ｃｒ，Ｍｏ，Ｗの酸化物，炭化物、窒化物、けい化物、硼化物は、上記希土類元素の焼結促進剤の機能を促進すると共に、結晶組織において分散強化の機能を果しSi_3N_4焼結体の機械的強度を向上させるものであり、特に、Ｈｆ，Ｔｉの化合物が好ましい。これらの化合物の添加量が０．１重量%未満の場合においては添加効果が不充分である一方、３．０重量%を超える過量となる場合には熱伝導率および機械的強度や電気絶縁破壊強度の低下が起こるため、添加量は０．１～３．０重量%の範囲とする。特に０．２～２重量%とすることが望ましい。

また上記Ｔｉ，Ｚｒ，Ｈｆ等の化合物は窒化けい素焼結体を黒色系に着色し不透明性を付与する遮光剤としても機能する。そのため、特に光によって誤動作を生じ易い集積回路等を搭載する回路基板を製造する場合には、上記Ｔｉ等の化合物を適正に添加し、遮光性に優れた窒化けい素基板とすることが望ましい。

また焼結体の気孔率は熱伝導率および強度に大きく影響するため２．５%以下となるように製造する。気孔率が２．５%を超えると熱伝導の妨げとなり、焼結体の熱伝導率が低下するとともに、焼結体の強度低下が起こる。

また、窒化けい素焼結体は組織的に窒化けい素結晶と粒界相とから構成されるが、粒界相中の結晶化合物相の割合は焼結体の熱伝導率に大きく影響し、本発明で使用する高熱伝導性窒化けい素基板においては、粒界相の２０%以上とすることが必要であり、より好ましくは５０%以上が結晶相で占めることが望ましい。

さらに上記のように高熱伝導性窒化けい素基板の気孔率を２．５%以下にし、また窒化けい素結晶組織に形成される粒界相の２０%以上が結晶相で占めるようにするためには、窒化けい素成形体を温度１８００～２１００℃で２～１０時間程度、加圧焼結し、かつ焼結操作完了直後における焼結体の冷却速度を毎時１００℃以下にして徐冷することが重要である。

焼結温度を１８００℃未満とした場合には、焼結体の緻密化が不充分で気孔率が２．５vol%以上になり機械的強度および熱伝導性が共に低下してしまう。一方焼結温度が２１００℃を超えると窒化けい素成分自体が蒸発分解し易くなる。特に加圧焼結ではなく、常圧焼結を実施した場合には、１８００℃付近より窒化けい素の分解蒸発が始まる。

上記焼結操作完了直後における焼結体の冷却速度は粒界相を結晶化させるために重要な制御因子であり、冷却速度が毎時１００℃を超えるような急速冷却を実施した場合には、焼結体組織の粒界相が非結晶質（ガラス相）となり、焼結体に生成した液相が結晶相として粒界相に占める割合が２０%未満となり、強度および熱伝導性が共に低下してしまう。

上記冷却速度を厳密に調整すべき温度範囲は、所定の焼結温度（１８００～２１００℃）から、前記の焼結助剤の反応によって生成する液相が凝固するまでの温度範囲で充分である。ちなみに前記のような焼結助剤を使用した場合の

液相凝固点は概略１６００～１５００℃程度である。そして少なくとも焼結温度から上記液相凝固温度に至るまでの焼結体の冷却速度を毎時１００℃以下、好ましくは５０℃以下、さらに好ましくは２５℃以下に制御することにより、粒界相の２０%以上、特に好ましくは５０%以上が結晶相になり、熱伝導率および機械的強度が共に優れた焼結体が得られる。

本発明において使用する高熱伝導性窒化けい素基板は、例えば以下のようなプロセスを経て製造される。すなわち前記所定の微細粒径を有し、また不純物含有量が少ない微細な窒化けい素粉末に対して所定量の焼結助剤、有機バインダ等の必要な添加剤および必要に応じてAl_2O_3やＡＩＮ，Ｔｉ化合物等を加えて原料混合体を調整し、次に得られた原料混合体を成形して所定形状の成形体を得る。原料混合体の成形法としては、汎用の金型プレス法、ドクターブレード法のようなシート成形法などが適用できる。上記成形操作に引き続いて、成形体を非酸化性雰囲気中で温度６００～８００℃、または空気中で温度４００～５００℃で１～２時間加熱して、予め添加していた有機バインダ成分を充分に除去し、脱脂する。次に脱脂処理された成形体を窒素ガス、水素ガスやアルゴンガスなどの不活性ガス雰囲気中で１８００～２１００℃の温度で所定時間雰囲気加圧焼結を行う。

上記製法によって製造された窒化けい素基板は気孔率が２．５%以下、６０Ｗ／ｍ・Ｋ（２５℃）以上の熱伝導率を有し、また三点曲げ強度が常温で６５０ＭＰａ以上と機械的特性にも優れている。

なお、低熱伝導性の窒化けい素に高熱伝導性のＳｉＣ等を添加して焼結体全体としての熱伝導率を６０Ｗ／ｍ・Ｋ以上にした窒化けい素基板は本発明の範囲には含まれない。しかしながら、熱伝導率が６０Ｗ／ｍ・Ｋ以上である窒化けい素焼結体に高熱伝導性のＳｉＣ等を複合させた窒化けい素系基板の場合には、本発明の範囲に含まれることは言うまでもない。

本発明に係る半導体モジュールは、上記のように製造した高熱伝導性窒化け

い素基板の表面および裏面に、前記直接接合法や活性金属法を用いて導電性を有する金属回路板および金属板をそれぞれ一体に接合して製造される。

本発明の半導体モジュールにおいては、セラミックス基板として、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板を使用しているため、熱サイクルや組立て時の衝撃力によって基板に割れが発生することが少なく、裏銅板（裏金属板）と、放熱性や構造強度を高めるためのヒートシンク板との両方は必要としない。したがって、半導体モジュールの構造が簡素化されて製造コストが大幅に低減されるとともに、小型化でき高密度実装も可能となる。

また、基板に搭載する半導体素子等の発熱部品からの発熱は、高熱伝導性窒化けい素基板を経て迅速に系外に伝達されるため放熱性が極めて良好である。また、高強度高靭性である窒化けい素基板を使用しているため、モジュールの最大たわみ量を大きく確保することができる。そのため、アッセンブリ工程においてモジュールの締め付け割れが発生せず、半導体モジュールを用いた半導体装置を高い製造歩留りで安価に量産することが可能になる。

また高熱伝導性窒化けい素基板の靭性値が高いため、熱サイクルによって基板と金属板との接合部に割れが発生することが少なく、耐熱サイクル特性が著しく向上し、耐久性および信頼性に優れた半導体装置を提供することができる。

さらに高い熱伝導率を有する窒化けい素基板を使用しているため、高出力化および高集積化を指向する半導体素子を搭載した場合においても、熱抵抗特性の劣化が少なく、優れた放熱性を発揮する。

特に高熱伝導性窒化けい素基板自体の機械的強度が優れているため、要求される機械的強度特性を一定とした場合に、他のセラミックス基板を使用した場合と比較して基板厚さをより低減することが可能となる。この基板厚さを低減できることから熱抵抗値をより小さくでき、放熱特性をさらに改善することができる。また要求される機械的特性に対して、従来より薄い基板でも充分に対

応可能となるため、基板の製造コストをより低減することが可能となる。

また従来の高熱伝導性窒化アルミニウム基板のみを回路基板の構成材とした場合には、ある程度の機械的強度を確保するために窒化アルミニウム基板の厚さを大きく設定する必要があった。しかるに本発明の半導体モジュールや回路基板では、主として厚さが薄い高熱伝導性窒化けい素基板によって高い放熱性を確保すると同時に高強度特性を確保している。そのため、モジュール全体および回路基板全体をコンパクトに形成することができる。

一方、本発明に係る窒化けい素回路基板は、上記のように製造した複数の高熱伝導性窒化けい素基板の間，表面，および，必要に応じて裏面に、前記直接接合法や活性金属法を用いて導電性を有する金属板を一体に接合し多層化して製造される。

すなわち本発明の窒化けい素回路基板においては、銅回路板などの金属板を直接接合法または活性金属法により接合した複数の高熱伝導性窒化けい素基板を、金属板を介して多層化している。よって、立体的なアッセンブリが可能となることによって、実装部や回路構成部の面積の増大を図った上で小型化でき、小型高実装が達成できる。

また、銅板などの金属板を有する高熱伝導性窒化けい素基板を多層化することにより、パッケージ等を構成することができるだけでなく、銅板などの金属板を回路構成部として使用するため、従来の多層パッケージに比べて電流ロスが改善でき、また高周波型半導体素子や大電流型半導体素子等への対応が図れる効果が発揮される。

特に、セラミックス基板として、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板を使用しているため、基板に搭載する半導体素子等の発熱部品からの発熱は、高熱伝導性窒化けい素基板を経て迅速に系外に伝達されるため放熱性が極めて良好である。また、高強度高靭性である窒化けい素基板を使用しているため、

回路基板の最大たわみ量を大きく確保することができる。そのため、アッセンブリ工程において回路基板の締め付け割れが発生せず、回路基板を用いた半導体装置を高い製造歩留りで安価に量産することが可能になる。

また熱伝導率が６０W／m・K以上の窒化けい素基板と６０W／m・K未満の基板とを複合化した窒化けい素回路基板において、高熱伝導性窒化けい素基板の厚さは、回路基板として使用した場合の要求特性に応じて種々の厚さに設定されるが、回路層の厚さの２倍以下に設定するとよい。窒化けい素基板の厚さが回路層の厚さの２倍を超えると、回路基板全体の厚さが増加し熱抵抗が大きくなる。窒化けい素基板の具体的な厚さは、０．２５～１．２㎜の範囲である。特に、この窒化けい素基板の厚さを０．８㎜以下に設定することにより、回路基板全体の厚さを低減することができ、回路基板の上下面間の熱抵抗差を、より効果的に減少させることが可能になり、回路基板全体の放熱性を、より改善することができる。

一方、本発明で使用される熱伝導率が６０W／m・K未満である基板は、特に限定されない。しかしながら、製造コストが低い観点から、特にアルミナ（Al_2O_3）基板や樹脂基板などの汎用で安価な基板が好適に使用できる。

本発明では上記熱伝導率が６０W／m・K以上の高熱伝導性窒化けい素基板と熱伝導率が６０W／m・K未満の汎用で安価な基板との２種類の基板を回路基板の要求特性に応じて使い分け、同一平面上にして複合基板を形成する。すなわち構造強度および放熱性が特に要求される部位には前記高熱伝導性窒化けい素基板を配置する一方、その他の部位には汎用で製造容易で安価な基板を同一平面上に配置することにより複合基板が形成される。

本発明に係る窒化けい素回路基板は、上記のように製造した複合基板の表面に、導電性を有する金属回路板を一体に接合し、さらにこの金属回路板を介して半導体素子を搭載して製造される。

さらに上記のように高熱伝導性窒化けい素基板と汎用で安価な基板とを同一

平面上で複合化した複合基板の裏面、すなわち金属回路板接合面と反対側の面に金属板を一体に接合するとよい。金属板は金属回路板と同様な材料で形成される。この金属板を一体に接合することにより、回路基板をヒートシンクなどの放熱部品に接合することが容易になるとともに、複合基板と金属回路板との熱膨張差に起因する回路基板の反りや変形を効果的に防止できる。

特に比較的に疎に形成される金属回路板の厚さを、密に形成される金属板の厚さより大きく設定することにより、複合化した複合基板の表裏に配設する金属量を同等にすることが可能であり、複合基板の表裏における熱膨張差が少なくなり、複合回路基板の反りや変形をより効果的に防止できる。

また少なくとも１枚の金属回路板または少なくとも１枚の金属板が、高熱伝導性窒化けい素基板および汎用で安価な基板の両方に亘って一体に接合される構造にすると、同一平面上に配置した窒化けい素基板と汎用で安価な基板とが相互に連結され、複合化した窒化けい素回路基板の一体性を高めることができる。

上記金属回路板および金属板の接合方法は、特に限定されず、以下に説明する直接接合法または活性金属法などを適用することができる。

直接接合法は、窒化けい素基板と汎用で安価な基板とから成る複合基板の表面に、厚さが０．５～１０μｍ程度の酸化層を形成し、この酸化層を介して、回路層となる金属回路板や金属板を上記複合基板に直接接合する方法である。ここで上記金属回路板や金属板は、ろう材などの接合剤を使用せずに複合基板表面に直接的に接合される。すなわち、金属回路板の成分と基板成分との共晶化合物を加熱により発生せしめ、この共晶化合物を接合剤として両部材が接合される。

なお、この直接接合法はAl_2O_3などの酸化物系セラミックスについてのみ適用可能であり、窒化けい素基板や窒化アルミニウム基板などの非酸化物系セラミックスにそのまま適用しても基板に対する濡れ性が低いため、金属回路板

の充分な接合強度が得られない。

そこで窒化けい素基板および窒化アルミニウム基板の表面に予め酸化層を形成し、基板に対する濡れ性を高める必要がある。この酸化層は上記窒化けい素基板および窒化アルミニウム基板を、空気中などの酸化雰囲気中で温度１０００～１４００℃程度で０．１～４８時間加熱して形成される。この酸化層の厚さが０．５μｍ未満の場合には、上記濡れ性の改善効果が少ない一方、１０μｍを超えるようにしても改善効果が飽和するとともに、却って熱伝導率が低下し易くなるため、酸化層の厚さは０．５～１０μｍの範囲、より好ましくは１～５μｍの範囲とする。

上記Si_3N_4基板の酸化層は、当初Si_3N_4基板成分の酸化物であるSiO_2のみから構成されているが、加熱による金属回路板の接合操作時において、Si_3N_4基板に焼結助剤として添加されていた希土類元素酸化物が酸化層方向に拡散移動する結果、希土類酸化物が酸化層中に濃縮された構成となる。例えば焼結助剤としてY_2O_3を使用した場合には加熱接合操作後の酸化層は、Y_2O_3を１～２０重量%程度含有するイットリアシリケートなどのSiO_2－Y_2O_3化合物から構成されるようになる。一方、汎用で安価な基板としてＡｌＮ基板を使用する場合においては、ＡｌＮ基板の酸化層はAl_2O_3から構成される。

上記金属回路板や金属板を構成する金属としては、銅，アルミニウム，鉄，ニッケル，クロム，銀，モリブデン，コバルトの単体またはその合金など、基板成分との共晶化合物を生成し、直接接合法を適用できる金属であれば特に限定されないが、特に導電性および価格の観点から銅，アルミニウムまたはその合金が好ましい。

金属回路板（回路層）の厚さは、通電容量等を勘案して決定されるが、窒化けい素基板の厚さを０．２５～１．２㎜の範囲とする一方、金属回路板の厚さを０．１～０．５㎜の範囲に設定して両者を組み合せると熱膨張差による変形

などの影響を受けにくくなる。

そして、金属回路板や金属板が銅回路板である場合には、以下のように接合操作が実施される。すなわち酸化層を形成した窒化けい素基板および汎用で安価な基板の表面の所定位置に、銅回路板を接触配置して基板方向に押圧した状態で、銅の融点（１０８３℃）未満の温度で、かつ銅－酸化銅の共晶温度（１０６５℃）以上に加熱し、生成したＣｕ－Ｏ共晶化合物液相を接合剤として銅回路板等が窒化けい素基板および汎用で安価な基板の表面に直接的に接合される。この直接接合法は、いわゆる銅直接接合法（ＤＢＣ：Direct Bonding Copper 法）である。さらにSi_3N_4基板上に直接接合した銅回路板の所定位置に半導体素子（Ｓｉチップ）を半田接合して搭載することにより、本発明に係る窒化けい素回路基板が製造される。なお汎用で安価な基板としてAl_2O_3基板のような酸化物系セラミックス基板を使用する場合には、上記のような酸化層を形成する必要がないことは言うまでもない。

一方、金属回路板や金属板がアルミニウム回路板である場合には、Si_3N_4基板および汎用で安価な基板表面にＡｌ回路板を押圧した状態でアルミニウム－けい素の共晶温度以上に加熱し、生成したＡｌ－Ｓｉ共晶化合物を接合剤としてＡｌ回路板がSi_3N_4基板表面に直接的に接合される。そしてSi_3N_4基板上に直接接合したＡｌ回路板の所定位置に半導体素子を半田接合して搭載することにより、本発明の窒化けい素回路基板が製造される。

このように直接接合法を使用して金属回路板を複合基板表面に直接接合し、さらに複数の半導体素子をSi_3N_4基板上の金属回路板上に搭載して形成した本発明に係る窒化けい素回路基板によれば、金属回路板とSi_3N_4基板または汎用で安価な基板との間に、接着剤やろう材のような介在物が存在しないため、両者間の熱抵抗が小さく、金属回路板上に設けられた半導体素子の発熱を系外に迅速に放散させることが可能である。

次に活性金属法による金属回路板等の接合方法を説明する。

活性金属法では、Ｔｉ，Ｚｒ，ＨｆおよびＮｂから選択される少なくとも１種の活性金属を含有し適切な組成比を有するＡｇ－Ｃｕ－Ｔｉ系ろう材等で複合基板表面に、厚さ２０μｍ前後の金属接合層（活性金属ろう材層）を形成し、この金属接合層を介して、銅回路板などの金属回路板や金属板が接合される。活性金属は、基板に対するろう材の濡れ性を改善し、接合強度を高める作用を有する。活性金属ろう材の具体例としては、重量％で上記活性金属を１～１０％，Ｃｕを１５～３５％，残部が実質的にＡｇから成るろう材組成物が好適である。上記金属接合層は、このろう材組成物を有機溶媒中に分散して調製した接合用組成物ペーストを複合基板表面にスクリーン印刷する等の方法で形成される。

そしてスクリーン印刷した金属接合層上に、回路層となる金属回路板や金属板を接触配置した状態で、真空中または不活性ガス雰囲気中で、例えばＡｇ－Ｃｕ共晶温度（７８０℃）以上で、かつ金属回路板の融点（銅の場合は１０８３℃）以下の温度に加熱することにより、金属回路板が金属接合層を介して複合基板に接合される。

なお、上記の回路基板においては金属回路板や金属板を直接接合法や活性金属法を使用して複合基板上に一体に接合して回路層を形成しているが、メタライズ法によって回路層を形成することも可能である。すなわち、メタライズ法では、例えばモリブデン（Ｍｏ）やタングステン（Ｗ）などの高融点金属とＴｉやその化合物とを主成分とするメタライズ組成物を複合基板表面に焼き付けて、厚さ１５μｍ程度の回路層としての高融点金属メタライズ層を形成する方法である。

このメタライズ法により、回路層を形成する場合には、メタライズ層表面にさらにＮｉやＡｕから成る厚さ３～５μｍ程度の金属めっき層を形成することが好ましい。この金属めっき層を形成することにより、メタライズ層の表面平滑性が改善され、半導体素子との密着性がより改善されるとともに、半田濡れ

性が向上するため、半田を使用した半導体素子の接合強度をより高めることができる。

上記構成に係る窒化けい素回路基板によれば、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板を、特に構造強度および放熱性が要求される部位に配置する一方、その他の部位にアルミナ基板や樹脂基板のように汎用で製造容易で安価な基板を配置し、両基板を同一平面上に配置して複合基板とし、この複合基板の表面に金属回路板を一体に接合し、さらに高熱伝導性窒化けい素基板上に接合した金属回路板上に半導体素子を搭載して形成されている。

したがって、製造コストが安価であり、また半導体素子等の発熱部品からの発熱は熱伝導率が高い窒化けい素基板を経て迅速に系外に伝達されるため放熱性が極めて良好である。また、高強度高靭性である高熱伝導率窒化けい素基板を、特に構造強度が要求される部位に配置することにより、回路基板の最大たわみ量を大きく確保することができる。そのため、アッセンブリ工程において回路基板の締め付け割れが発生せず、回路基板を用いた半導体装置を高い製造歩留りで安価に量産することが可能になる。

また窒化けい素基板の靭性値が高いため、熱サイクルによって基板と金属回路板や金属板との接合部に割れが発生することが少なく、耐熱サイクル特性が著しく向上し、耐久性および信頼性に優れた半導体装置を提供することができる。

さらに高い熱伝導率を有する窒化けい素基板を使用しているため、高出力化および高集積化を指向する半導体素子を搭載した場合においても、熱抵抗特性の劣化が少なく、優れた放熱性を発揮する。

特に窒化けい素基板自体の機械的強度が優れているため、要求される機械的強度特性を一定とした場合に、他のセラミックス基板を使用した場合と比較して基板厚さをより低減することが可能となる。この基板厚さを低減できること

から熱抵抗値をより小さくでき、放熱特性をさらに改善することができる。また要求される機械的特性に対して、従来より薄い基板でも充分に対応可能となるため、基板製造コストをより低減することが可能となる。

また従来の高熱伝導性窒化アルミニウム基板のみを回路基板の構成材とした場合には、ある程度の機械的強度を確保するために窒化アルミニウム基板の厚さを大きく設定する必要があった。しかるに本発明の回路基板では、主として窒化けい素基板によって高い放熱性を確保すると同時に高強度特性を確保している。そして、特に窒化けい素基板の厚さに、アルミナ基板や樹脂基板などの汎用で製造容易で安価な基板の厚さを揃えて小さく形成することが可能となるため、汎用で安価な基板部の熱抵抗値をさらに相乗的に低減することが可能となる。したがって本発明によれば、同じ熱伝導率を有する従来の汎用で安価な基板のみを使用した従来の回路基板と比較して、放熱性をさらに高めることができる。

図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例に係る半導体モジュールの構造を示す断面図である。

第2図は本発明の他の実施例に係る半導体モジュールの断面図である。

第3図は本発明の他の実施例に係る半導体モジュールの断面図である。

第4図は従来の半導体モジュールの構造を示す断面図である。

第5図は本発明の一実施例に係る窒化けい素回路基板の構造を示す断面図である。

第6図は本発明の他の実施例に係る窒化けい素回路基板の断面図である。

第7図は従来のセラミックス回路基板の構造を示す断面図である。

第8図は本発明に係る窒化けい素回路基板の構成例を示す平面図である。

第9図は本発明に係る窒化けい素回路基板の一実施例を示す断面図であり、

図８におけるIX－IX矢視断面図である。

第１０図は本発明に係る窒化けい素回路基板の他の実施例を示す断面図であり、図８におけるＸ－Ｘ矢視断面図である。

発明を実施するための最良の形態

次に本発明の実施形態について、以下に示す実施例および添付図面を参照して具体的に説明する。まず本発明において使用する高熱伝導性窒化けい素基板について述べ、しかる後に、この高熱伝導性窒化けい素基板をセラミックス基板として使用した半導体モジュールおよび窒化けい素回路基板について説明する。

まず本発明の半導体モジュールおよび窒化けい素回路基板の構成材となる各種高熱伝導性窒化けい素基板を以下の手順で製造した。

すなわち、酸素を１．３重量%、前記不純物陽イオン元素を合計で０．１５重量%含有し、α相型窒化けい素９７%を含む平均粒径０．５５μmの窒化けい素原料粉末に対して、表１～３に示すように、焼結助剤としてのY_2O_3，Ho_2O_3などの希土類酸化物と、必要に応じてＴｉ，Ｈｆ化合物，Al_2O_3粉末，ＡｌＮ粉末とを添加し、エチルアルコール中で窒化けい素製ボールを用いて７２時間湿式混合した後に乾燥して原料粉末混合体をそれぞれ調整した。次に得られた各原料粉末混合体に有機バインダを所定量添加して均一に混合した後に、１０００kg／cm^2の成形圧力でプレス成形し、各種組成を有する成形体を多数製作した。

次に得られた各成形体を７００℃の雰囲気ガス中において２時間脱脂した後に、この脱脂体を表１～３に示す焼結条件で緻密化焼結を実施した後に、焼結炉に付設した加熱装置への通電量を制御して焼結炉内温度が１５００℃まで降下するまでの間における焼結体の冷却速度がそれぞれ表１～３に示す値となるように調整して焼結体を冷却し、それぞれ試料１～５１に係る窒化けい素焼結

体を調製した。さらに得られた焼結体を切断して厚さが0．3㎜，0．5㎜および0．6㎜の所定形状の高熱伝導性窒化けい素基板とした。

こうして得た試料1～51に係る各窒化けい素基板について気孔率、熱伝導率（25℃）、室温での三点曲げ強度の平均値を測定した。さらに、各窒化けい素基板についてX線回折法によって粒界相に占める結晶相の割合を測定し、下記表1～3に示す結果を得た。

【表1】

試料	原料組成（重量%）		焼結条件	焼結後の1500℃までの冷却速度	気孔率	粒界相において結晶相が占める割合(面積比)(%)	熱伝導率	三点曲げ強度
	Si_3N_4	Ho_2O_3	温度×時間 (℃)(hr)	(℃/hr)	(%)		(W/m・K)	(MPa)
1	92	8	1950×6	100	0.2	22	89	845
2	92	8	1950×6	50	0.1	28	92	820
3	92	8	1900×6	50	0.6	34	95	800
4	90	10	1950×6	100	0.5	25	95	820
5	90	10	1950×6	25	0.3	65	99	705
6	90	10	1900×6	25	0.9	67	104	805
7	87.5	12.5	1975×6	50	0.4	69	114	760
8	87.5	12.5	1900×6	25	1.2	70	105	795
9	85	15	1950×6	100	1.2	40	102	780
10	85	15	2000×6	100	0.6	35	108	700
11	85	15	1950×6	25	1.0	65	120	730
12	82.5	17.5	1950×6	100	2.3	30	90	755
13	82.5	17.5	2000×6	100	1.8	28	96	700
14	82.5	17.5	2000×6	25	1.4	32	100	680

Printed from Mimosa 01/04/2001 15:47:10 page -26-

【表2】

試料	原料組成（重量%）						焼結条件	焼結後の1500℃までの冷却速度	気孔率	粒界相において結晶相が占める割合	熱伝導率	三点曲げ強度
	Si_3N_4	Y_2O_3	他成分		Al_2O_3	AlN	温度×時間 (℃) (hr)	(℃/hr)	(%)	(面積比) (%)	(W/m·K)	(MPa)
15	94.8	5	HfO_2	0.2			1900×6	50	1.3	50	88	840
16	94	5	HfO_2	1			1900×6	50	0.2	55	90	960
17	92	5	HfO_2	3			1900×6	50	0.1	45	75	1060
18	95	2	HfO_2	3			1900×6	50	0.5	30	65	930
19	92	7.5	HfO_2	0.5			1900×6	50	0.1	75	95	870
20	94	5	HfO_2	1			1900×6	100	0.2	45	80	980
21	94	5	HfC	1			1900×6	100	0.3	55	92	960
22	94	5	HfN	1			1950×6	100	0.4	55	90	930
23	94	5	$HfSi_2$	1			1950×6	100	0.4	50	88	910
24	94	5	HfB_2	1			1900×6	100	0.4	45	83	880
25	94	5	TiO_2	1			1900×6	100	0.2	48	80	960
26	94	5	ZrO_2	1			1900×6	100	0.2	45	85	1030
27	94	5	V_2O_5	1			1900×6	100	0.3	50	90	930
28	94	5	Nb_2O_5	1			1900×6	100	0.2	48	83	880
29	94	5	Ta_2O_5	1			1900×6	100	0.4	45	80	900
30	94	5	Cr_2O_3	1			1900×6	100	0.2	58	100	930
31	94	5	MoO_3	1			1900×6	100	0.4	40	75	910
32	94	5	WO_3	1			1900×6	100	0.3	40	75	880
33	94	5	TiC	1			1900×6	100	0.4	59	95	930
34	94	5	WC	1			1900×6	100	0.3	49	83	910
35	94	5	TiB_2	1			1900×6	100	0.4	40	80	950
36	94	5	HfO_2 TiO_2	0.5 0.5			1900×6	100	0.2	46	82	1000

Printed from Mimosa 01/04/2001 15:47:10 page -27-

【表3】

試料	原料組成（重量%）							焼結条件 温度×時間 (℃) (hr)	焼結後の1500℃までの冷却速度 (℃/hr)	気孔率 (%)	粒界相において結晶相が占める割合 (面積比) (%)	熱伝導率 (W/m・k)	三点曲げ強度 (MPa)
	Si_3N_4	希土類酸化物		他成分		Al_2O_3	AlN						
37	88	Ho_2O_3 Y_2O_3	6.5 3.5	HfO_2	2			1900×6	50	0.2	55	120	720
38	88	Er_2O_3 Y_2O_3	6.5 3.5	HfO_2	2			1900×6	50	0.1	54	119	775
39	88	Yb_2O_3 Y_2O_3	6.5 3.5	HfO_2	2			1900×6	50	0.2	60	125	750
40	83.9	Ho_2O_3	15	HfO_2	1	0.1		1900×6	50	0.1	49	106	770
41	84	Ho_2O_3	15	HfO_2	0.5	0.5		1900×6	50	0.1	30	90	850
42	82	Ho_2O_3	15	HfO_2	2	1		1850×6	25	0.1	22	82	900
43	82.5	Ho_2O_3	15	HfO_2	2		0.5	1900×6	50	0.1	39	100	880
44	83	Ho_2O_3	15	HfO_2	2		1	1900×6	50	0.1	24	88	870
45	82.6	Ho_2O_3	15	HfO_2	2	0.2	0.2	1900×6	50	0.1	37	100	885
46	82.5	Er_2O_3	15	HfO_2	2	0.5		1900×6	50	0.1	40	94	850
47	82.5	Er_2O_3	15	HfO_2	2		0.5	1900×6	50	0.1	38	93	825
48	89.8	Y_2O_3	8	HfO_2	2	0.2		1900×6	50	0.1	36	95	800
49	84	Ho_2O_3	15	TiO_2	0.5	0.5		1900×6	50	0.1	28	88	820
50	84	Er_2O_3	15	TiO_2	0.5	0.5		1900×6	50	0.1	27	88	810
51	84	Yb_2O_3	12.5	TiO_2	0.5	0.5		1900×6	50	0.1	27	90	700

Printed from Mimosa 01/04/2001 15:47:10 page -28-

表１～３に示す結果から明らかなように試料１～５１に係る窒化けい素焼結体においては、原料組成および不純物量を適正に制御し、従来例と比較して緻密化焼結完了直後における焼結体の冷却速度を従来より低く設定しているため、粒界相に結晶相を含み、結晶相の占める割合が高い程、高熱伝導率を有する放熱性の高い高強度窒化けい素基板が得られた。

これに対して酸素を１．３～１．５重量%，前記不純物陽イオン元素を合計で０．１３～１．５０重量%含有し、α相型窒化けい素を９３%含む平均粒径０．６０μmの窒化けい素原料粉末を用い、この窒化けい素粉末に対してY_2O_3（酸化イットリウム）粉末を３～６重量と、アルミナ粉末を１．３～１．６重量%添加した原料粉末を成形，脱脂後、１９００℃で６時間焼結し、焼結後、工業上通常行われる炉冷（冷却速度：毎時４００℃）を行った。得られた焼結体の熱伝導率は２５～２８W／m・Kと低く、従来の一般的な製法によって製造された窒化けい素焼結体の熱伝導率に近い値となった。

次に得られた試料１～５１に係る厚さ０．５㎜の高熱伝導性窒化けい素基板の両面に、直接接合法または活性金属法を用いて金属回路板および金属板を一体に接合することにより、それぞれ半導体モジュールを製造した。

図１は、本発明の一実施例による半導体モジュール１ａの構造を示す断面図である。

図１において、高熱伝導性窒化けい素基板１０の表面には金属回路板としての銅板３が一体に接合されており、また高熱伝導性窒化けい素基板１０の裏面には金属板として銅板４ａが接合されており、これらにより半導体モジュール１ａが構成されている。

また、図１に示す半導体モジュール１ａにおける銅板３，４ａは、高熱伝導性窒化けい素基板１０に対して直接接合法、いわゆるＤＢＣ法により接合されている。このようなＤＢＣ法を利用する場合の銅板３，４ａとしては、タフピッチ銅のような酸素を１００～３０００ppm の割合で含有する銅を用いること

が好ましいが、表面を酸化させた無酸素銅を用いることも可能である。なお、銅や銅合金の単板に代えて、高熱伝導性窒化けい素基板１０との接合面が少なくとも銅により構成されている他の金属部材とのクラッド板等を用いることもできる。

高熱伝導性窒化けい素基板１０の表面側に接合された銅板３は、半導体部品等の実装部となるものであり、所望の回路形状にパターニングされている。銅板３の所定位置には半導体素子７が半田接合されており、半導体素子７の電極部と銅板３の電極部とはボンディングワイヤ８によって電気的に接続されている。また、高熱伝導性窒化けい素基板１０の裏面側に接合された銅板４ａは、接合時における高熱伝導性窒化けい素基板１０の反り等を防止するものであり、中央付近から２分割された状態でほぼ高熱伝導性窒化けい素基板１０の裏面全面に接合、形成されている。図１に示すように、裏面側の銅板４ａの厚さt_1は、半導体部品等の実装部となる金属回路板としての銅板３と同じ厚さのものを使用してもよいが、銅板３の厚さt_0以下、さらに銅板３の厚さt_0の７０～９０％の厚さの銅板を使用することが好ましい。

一方、高熱伝導性窒化けい素基板１０の裏面に接合する金属板４ｂに、放熱性を改善するヒートシンク板としての機能を付与する場合においては、図３に示すように、機器ケーシング９あるいは実装ボードに接合される金属板４ｂの厚さt_2を前記金属回路板の厚さt_0の２倍以上とすることが好ましい。上記高熱伝導性窒化けい素基板１０の裏面側に接合する金属板４ｂの厚さt_2を、金属回路板３の厚さt_0の２倍以上とすることにより、たとえヒートシンク板を用いなくても、この金属板４ｂがヒートシンクとして機能する効果を大きくすることができるため、モジュールの放熱性をより改善することが可能となる。

ここで、図１に示した半導体モジュール１ａは、高熱伝導性窒化けい素基板１０に銅板３，４ａをＤＢＣ法により接合したものであるが、例えば銅板３，４ａを活性金属法で高熱伝導性窒化けい素基板１０に接合した半導体モジュー

ルであってもよい。上記活性金属法は、例えばＴｉ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｎｂ等から選ばれた少なくとも１種の活性金属を含むろう材（以下、活性金属含有ろう材と記す）層を介して、高熱伝導性窒化けい素基板１０と銅板３，４ａとを接合する方法である。用いる活性金属含有ろう材の組成としては、例えばＡｇ－Ｃｕの共晶組成（７２wt%Ａｇ－２８wt%Ｃｕ）もしくはその近傍組成のＡｇ－Ｃｕ系ろう材やＣｕ系ろう材を主体とし、これに１～１０重量%のＴｉ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｎｂ等から選ばれた少なくとも１種の活性金属を添加した組成等が例示される。なお、活性金属含有ろう材にＩｎを１～１０重量%添加して用いることもできる。

図１に示した半導体モジュール１ａのように、銅板３，４ａを高熱伝導性窒化けい素基板１０にＤＢＣ法で接合したものは、単純構造で高接合強度が得られ、また製造工程を簡易化できる等の利点を有する。一方、銅板３，４ａを高熱伝導性窒化けい素基板１０に活性金属法で接合した半導体モジュールは、高接合強度が得られると共に、活性金属含有ろう材層が応力緩和層としても機能するため、より信頼性の向上が図れる。このようなことから、要求特性や用途等に応じて接合法を選択することが好ましい。

また、活性金属法により高熱伝導性窒化けい素基板１０に金属回路板および金属板を接合する場合には、銅板に限らず、用途に応じて各種の金属板、例えばニッケル板、タングステン板、モリブデン板、これらの合金板やクラッド板（銅板とのクラッド板を含む）等を用いることも可能である。

上述した半導体モジュール１ａは、例えば以下のようにして製造される。すなわち、例えばタフピッチ銅のような酸素含有銅板を、所定形状（銅板３に関しては回路パターン形状）に加工し、得られた銅板３，４ａを高熱伝導性窒化けい素基板１０の表面にそれぞれ接触配置し、銅の融点（１３５６Ｋ）以下で銅と酸化銅との共晶温度（１３３８Ｋ）以上の温度で加熱することにより、各銅板３，４ａを接合し、さらに銅板３の所定位置に半導体素子７を半田接合し、

半導体素子７の電極と銅板３の電極とをボンディングワイヤ８によって接続して半導体モジュールを作製する。この銅板を加熱接合する際の雰囲気は、銅板として酸素含有銅板を使用する場合には不活性ガス雰囲気とすることが好ましい。

また、活性金属法により金属回路板および金属板を接合した半導体モジュールは、例えば以下のようにして製造される。まず、上記半導体モジュール１ａと同様に、所定形状の銅板３，４ａを用意する。一方、前述したような活性金属含有ろう材をペースト化したものを、例えば高熱伝導性窒化けい素基板１０の表面に塗布する。ろう材層の塗布厚は、冷熱サイクル特性の向上を図る上で、加熱接合後のろう材層の層厚があまり厚くならないようにすることが好ましい。次に、ろう材ペーストを塗布した高熱伝導性窒化けい素基板１０の表面上に、銅板３，４ａをそれぞれ積層配置し、使用したろう材に応じた温度で熱処理することにより、金属回路板３および金属板４ａを接合し、さらに銅板３の所定位置に半導体素子７を半田接合し、半導体素子７の電極と銅板３の電極とをボンディングワイヤ８によって接続して半導体モジュールを作製する。

また、図１に示した半導体モジュール１ａは、窒化けい素基板１０の外縁部に形成した取付ねじ用貫通孔１１に取付ねじ６ａを挿通して機器ケーシング９等に締着固定される。しかしながら、窒化けい素焼結体は硬度が高く孔明け加工が容易ではない。そこで製造工程を簡略化するために、例えば図２に示すように、取付ねじ用貫通孔１１ａを形成した枠状のケース１２を用意し、このケース１２の内周縁部を半導体モジュールの外周縁部に押圧し、取付ねじ６ｂによってモジュールを機器ケーシング９等に圧接して固定することも可能である。

上述したような構造の半導体モジュールにおいては、セラミックス基板として、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板１０を使用しているため、熱サイクルや組立時の衝撃力によって基板１０に割れが発生することが少なく、特

に、放熱性や構造強度を高めるためのヒートシンク板を必要としない。したがって、半導体モジュールの構造が簡素化されて、製造コストが大幅に低減されるとともに、小型化でき高密度実装も可能となり、半導体装置のダウンサイジングを効果的に達成することができる。

次に、実施例の具体例およびその評価結果について述べる。

実施例１

まず、高熱伝導性窒化けい素基板として、前記表１～３に示す試料１～５１に係る窒化けい素基板を採用し、空気中で酸化することにより、表面に厚さ４μｍの酸化物層（SiO_2 層）を有する厚さ０．５㎜の高熱伝導性窒化けい素基板１０を用意すると共に、プレス加工により形成した、タフピッチ銅（酸素含有量：３００ppm ）からなる所定形状の厚さ０．３㎜の金属回路板としての銅板３および厚さ０．２５㎜の金属板としての銅板４ａを用意した。

そして、図１に示したように、高熱伝導性窒化けい素基板１０の両面に２枚の銅板３，４ａをそれぞれ直接接触配置し、窒素ガス雰囲気中にて１３４８Ｋの条件で加熱して接合させ、さらに半導体素子７を銅板３上に半田接合し、ワイヤボンディングを施して目的とする半導体モジュール１ａを得た。

一方、比較例として、上記高熱伝導性窒化けい素基板１０に代えて、厚さ０．６㎜の窒化アルミニウム基板を使用した点以外は、実施例１と同様に処理して比較例に係る半導体モジュールを製造した。

このようにして得た実施例１に係る半導体モジュール１ａおよび比較例の半導体モジュールに対して熱サイクル試験（ＴＣＴ：２３３Ｋ×３０分＋ＲＴ×１０分＋３９８Ｋ×３０分を１サイクルとする）を施し、セラミックス基板における割れの発生割合を測定した。その結果、実施例１の半導体モジュールは、１００サイクルのＴＣＴ後においてもクラックが発生しなかったのに対して、比較例による半導体モジュールは１００サイクルでセラミックス基板の５～９％にクラックが生じた。

実施例2

高熱伝導性窒化けい素基板として、試料1～51に係る厚さ0．5㎜の高熱伝導性窒化けい素基板10を用意すると共に、実施例1と同一形状であり、プレス加工により形成した所定形状の厚さ0．3㎜の銅板3，4と厚さ0．25㎜の銅板5とを用意した。

そして、高熱伝導性窒化けい素基板10の両面に、In：Ag：Cu：Ti＝14．0：59．0：23．0：4．0組成の活性金属含有ろう材をペースト化したものを塗布し、この塗布層を介して銅板3，4aを積層配置した後、窒素ガス雰囲気中にて加熱して接合させ、さらに半導体素子7を銅板3上に半田接合し、ワイヤボンディングを施して目的とする半導体モジュールを得た。

このようにして得た半導体モジュールに対して熱サイクル試験を実施例1と同一条件下で実施したところ、実施例1と同様な良好な結果が得られ、冷熱サイクルに対する信頼性に優れることを確認した。

実施例3

まず、高熱伝導性窒化けい素基板として、前記試料1～51に係る窒化けい素基板を採用し、空気中で酸化することにより、表面に厚さ4μmの酸化物層（SiO_2 層）を有する厚さ0．5㎜の高熱伝導性窒化けい素基板10を用意すると共に、プレス加工により形成した、タフピッチ銅（酸素含有量：300ppm）からなる所定形状の厚さ0．3㎜の銅板3および厚さ0．6㎜の銅板4bを用意した。

そして、図3に示すように、高熱伝導性窒化けい素基板10の両面に2枚の銅板3，4bをそれぞれ直接接触配置し、窒素ガス雰囲気中にて1348Kの条件で加熱して接合させ、さらに半導体素子7を銅板3上に半田接合し、ワイヤボンディングを施し、目的とする半導体モジュールを得た。

一方、比較例として、上記高熱伝導性窒化けい素基板10に代えて、厚さ0．6㎜の窒化アルミニウム基板2a，2bを使用した点以外は、実施例3と同様

に処理して比較例に係る半導体モジュールを製造した。 このようにして得た実施例３に係る半導体モジュールおよび比較例の半導体モジュールに対して熱サイクル試験（ＴＣＴ：２３３Ｋ×３０分＋ＲＴ×１０分＋３９８Ｋ×３０分を１サイクルとする）を施し、セラミックス基板における割れの発生割合を測定した。その結果、実施例３の半導体モジュール１ｂは、１００サイクルのＴＣＴ後においてもクラックが発生しなかったのに対して、比較例による半導体モジュールは１００サイクルでセラミックス基板の４～７％にクラックが生じた。

実施例４

高熱伝導性窒化けい素基板として、試料１～５１に係る厚さ０．５㎜の高熱伝導性窒化けい素基板１０を用意すると共に、実施例３と同一形状であり、プレス加工により形成した所定形状の厚さ０．３㎜の銅板３と厚さ０．６㎜の銅板４ｂとを用意した。

そして、高熱伝導性窒化けい素基板１０の両面に、Ｉｎ：Ａｇ：Ｃｕ：Ｔｉ＝１４．０：５９．０：２３．０：４．０組成の活性金属含有ろう材をペースト化したものを塗布し、この塗布層を介して銅板３，４ｂを積層配置した後、窒素ガス雰囲気中にて加熱して接合させ、さらに半導体素子７を銅板３上に半田接合し、ワイヤボンディングを施して目的とする半導体モジュールを得た。

このようにして得た半導体モジュールに対して熱サイクル試験を実施例３と同一条件下で実施したところ、実施例３と同様な良好な結果が得られ、冷熱サイクルに対する信頼性に優れることを確認した。

また上記各実施例に係る半導体モジュールによれば、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板１０を使用している。したがって、裏銅板（裏金属板）と、放熱性や構造強度を高めるためのヒートシンク板との両方は必要とせず、構造が簡素化されて製造コストが大幅に削減される。また基板に搭載する半導体素

子７等の発熱部品からの発熱は熱伝導率が高い窒化けい素基板１０を経て迅速に系外に伝達されるため放熱性が極めて良好である。

また、高強度高靭性である高熱伝導率窒化けい素基板１０を使用しているため、モジュールの最大たわみ量を大きく確保することができる。そのため、アッセンブリ工程においてモジュールを機器ケーシング９に取付ねじ６ａによって固定した場合においても、締め付け割れが発生せず、モジュールを用いた半導体装置を高い製造歩留りで安価に量産することが可能になる。

また高熱伝導性窒化けい素基板１０の靭性値が高いため、熱サイクルによって基板１０と金属回路板や金属板４ａ，４ｂとの接合部に割れが発生することが少なく、耐熱サイクル特性が著しく向上し、耐久性および信頼性に優れた半導体装置を提供することができる。

さらに高い熱伝導率を有する窒化けい素基板１０を使用しているため、高出力化および高集積化を指向する半導体素子７を搭載した場合においても、熱抵抗特性の劣化が少なく、優れた放熱性を発揮する。

特に窒化けい素基板自体の機械的強度が優れているため、要求される機械的強度特性を一定とした場合に、他のセラミックス基板を使用した場合と比較して基板厚さをより低減することが可能となる。すなわち従来の半導体モジュールにおいては、セラミックス基板の厚さは０．６～１．０㎜が一般的であったが、本発明で使用する高熱伝導性窒化けい素基板を使用することにより、その厚さを０．１㎜以上０．６㎜未満と薄くした場合においても使用できる。この基板厚さを低減できることから熱抵抗値をより小さくでき、放熱特性をさらに改善することができる。また要求される機械的特性に対して、従来より薄い基板でも十分に対応可能となるため、基板製造コストをより低減することが可能となる。

次に前記試料１～５１として調製した厚さ０．３㎜，０．６㎜の２枚の高熱伝導性窒化けい素基板の両面に、直接接合法または活性金属法を用いて金属板

を一体に接合し多層化することにより、それぞれ窒化けい素回路基板を製造した。

図５は、本発明の一実施例による窒化けい素回路基板の構造を示す断面図である。

図５において、２枚の高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂは金属板としての銅板２０４を介して一体に接合されており、また高熱伝導性窒化けい素基板２１０ｂの表面には金属板として銅板２０３が接合されている。一方、高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａの裏面にも、同様に銅板２０５が接合されており、これらにより窒化けい素回路基板２０９Ａが構成されている。

また、図５に示す窒化けい素回路基板２０９Ａにおける銅板２０３，２０４，２０５は、高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂに対して直接接合法、いわゆるＤＢＣ法により接合されている。このようなＤＢＣ法を利用する場合の銅板２０３，２０４，２０５としては、タフピッチ銅のような酸素を１００～３０００ppm の割合で含有する銅を用いることが好ましいが、表面を酸化させた無酸素銅を用いることも可能である。なお、銅や銅合金の単板に代えて、高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂとの接合面が少なくとも銅により構成されている他の金属部材とのクラッド板等を用いることもできる。

高熱伝導性窒化けい素基板２１０ｂの表面側に接合された銅板２０３は、半導体部品等の実装部となるものであり、所望の回路形状にパターニングされている。銅板２０３の所定位置には半導体素子２０７が半田接合されており、半導体素子２０７の電極部と銅板２０３の電極部とはボンディングワイヤ２０８によって電気的に接続されている。また、高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａの裏面側に接合された銅板２０５は、接合時における高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａの反り等を防止するものであり、中央付近から２分割された状態でほぼ高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａの裏面全面に接合、形成されている。裏面側の銅板２０５には、半導体部品等の実装部となる銅板２０３と同じ厚さ

のものを使用してもよいが、銅板２０３の厚さの７０～９０％の厚さの銅板を使用することが好ましい。

ここで、図５に示した窒化けい素回路基板２０９Ａは、２枚の高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂに銅板２０３，２０４，２０５をＤＢＣ法により接合したものであるが、例えば図６に示すように、銅板２０３，２０４，２０５を活性金属法で２枚の高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂに接合した窒化けい素回路基板２０９Ｂであってもよい。上記活性金属法は、例えばＴｉ、Ｚｒ、Ｈｆ、Ｎｂ等から選ばれた少なくとも１種の活性金属を含むろう材（以下、活性金属含有ろう材と記す）層２０６を介して、２枚の高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂと銅板２０３，２０４，２０５とを接合する方法である。

上述したような構造の窒化けい素回路基板２０９Ａ，２０９Ｂにおいては、銅回路板などの金属板２０３，２０４，２０５を直接接合法または活性金属法により接合した２枚の高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを、金属板２０３，２０４，２０５を介して多層化している。よって、立体的なアッセンブリが可能となることによって、実装部や回路構成部の面積の増大を図った上で小型化でき、小型高実装が達成できる。

また、銅板などの金属板２０３，２０４，２０５を有する高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを多層化することにより、パッケージ等を構成することができるだけでなく、銅板などの金属板を回路構成部として使用するため、従来の多層パッケージに比べて電流ロスが改善でき、また高周波型半導体素子や大電流型半導体素子等への対応が図れる。

次に、実施例の具体例およびその評価結果について述べる。

実施例５

まず、高熱伝導性窒化けい素基板として、前記試料１～５１に係る窒化けい素基板を採用し、空気中で酸化することにより、表面に厚さ４μｍ酸化物層

（SiO_2 層）を有する厚さ０．３㎜および０．６㎜の高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを用意すると共に、プレス加工により形成した、タフピッチ銅（酸素含有量：３００ppm ）からなる所定形状の厚さ０．３㎜の銅板２０３，２０４および厚さ０．２５㎜の銅板２０５を用意した。

そして、図５に示したように、高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂの両面に３枚の銅板２０３，２０４，２０５をそれぞれ直接接触配置し、窒素ガス雰囲気中にて１３４８Ｋの条件で加熱して接合させ、目的とする窒化けい素回路基板２０９Ａを得た。

一方、比較例として、上記高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂに代えて、図７に示すように厚さ０．８㎜および０．６㎜の窒化アルミニウム基板２０２ａ，２０２ｂを使用した点以外は、実施例５と同様に処理して比較例に係る窒化アルミニウム回路基板を製造した。

このようにして得た実施例５に係る窒化けい素回路基板および比較例の窒化アルミニウム回路基板に対して熱サイクル試験（ＴＣＴ：２３３Ｋ×３０分＋ＲＴ×１０分＋３９８Ｋ×３０分を１サイクルとする）を施し、セラミックス基板における割れの発生割合を測定した。その結果、実施例５の窒化けい素回路基板は、１００サイクルのＴＣＴ後においてもクラックが発生しなかったのに対して、比較例による窒化アルミニウム回路基板は１００サイクルでセラミックス基板の５～９％にクラックが生じた。

実施例６

高熱伝導性窒化けい素基板として、試料１～５１に係る厚さ０．３㎜および０．６㎜の高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを用意すると共に、実施例５と同一形状であり、プレス加工により形成した所定形状の厚さ０．３㎜の銅板２０３，２０４と厚さ０．２５㎜の銅板２０５とを用意した。

そして、図６に示すように、高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂの両面に、Ｉｎ：Ａｇ：Ｃｕ：Ｔｉ＝１４．０：５９．０：２３．０：４．０

組成の活性金属含有ろう材をペースト化したものを塗布し、この塗布層を介して銅板２０３，２０４，２０５を積層配置した後、窒素ガス雰囲気中にて加熱して接合させ、目的とする多層窒化けい素回路基板２０９Ｂを得た。

このようにして得た多層窒化けい素回路基板２０９Ｂに対して熱サイクル試験を実施例５と同一条件下で実施したところ、実施例５と同様な良好な結果が得られ、冷熱サイクルに対する信頼性に優れることを確認した。

また上記各実施例に係る窒化けい素回路基板２０９Ａ，２０９Ｂによれば、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを使用している。したがって、基板に搭載する半導体素子２０７等の発熱部品からの発熱は熱伝導率が高い窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを経て迅速に系外に伝達されるため放熱性が極めて良好である。

また、高強度高靭性である高熱伝導率窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを使用しているため、回路基板の最大たわみ量を大きく確保することができる。そのため、アッセンブリ工程において回路基板の締め付け割れが発生せず、回路基板を用いた半導体装置を高い製造歩留りで安価に量産することが可能になる。

また高熱伝導性窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂの靭性値が高いため、熱サイクルによって基板２１０ａ，２１０ｂと金属回路板や金属板２０３，２０４，２０５との接合部に割れが発生することが少なく、耐熱サイクル特性が著しく向上し、耐久性および信頼性に優れた半導体装置を提供することができる。

さらに高い熱伝導率を有する窒化けい素基板２１０ａ，２１０ｂを使用しているため、高出力化および高集積化を指向する半導体素子２０７を搭載した場合においても、熱抵抗特性の劣化が少なく、優れた放熱性を発揮する。

次に高熱伝導性窒化けい素基板と汎用で安価な基板としてのアルミナ基板とを同一平面上に配置した窒化けい素回路基板の実施例について説明する。

実施例７～９

酸素を１．３重量%、不純物陽イオン元素としてＬｉ，Ｎａ，Ｋ，Ｆｅ，Ｃａ，Ｓｒ，Ｂａ，Ｍｎ，Ｂを合計で０．１５重量%含有し、α相型窒化けい素９７%を含む平均粒径０．５５μｍの窒化けい素原料粉末に対して、焼結助剤として平均粒径０．７μｍのY_2O_3（酸化イットリウム）粉末５重量%、平均粒径０．５μｍのAl_2O_3（アルミナ）粉末１．０重量%を添加し、エチルアルコール中で２４時間湿式混合した後に乾燥して原料粉末混合体を調整した。次に得られた原料粉末混合体に有機バインダを所定量添加して均一に混合した後に、１０００kg／cm^2の成形圧力でプレス成形し、長さ８０㎜×幅５０㎜×厚さ１～５㎜の成形体を多数製作した。次に得られた成形体を７００℃の雰囲気ガス中において２時間脱脂した後に、この脱脂体を窒素ガス雰囲気中７．５気圧にて１９００℃で６時間保持し、緻密化焼結を実施した後に、焼結炉に付設した加熱装置への通電量を制御して焼結炉内温度が１５００℃まで降下するまでの間における焼結体の冷却速度がそれぞれ１００℃／hrとなるように調整して焼結体を徐冷し、さらに得られた各焼結体を研摩加工してそれぞれ熱伝導率ｋが７０W／m・Kであり、厚さが０．４㎜，０．６㎜，０．８㎜である実施例７～９用の窒化けい素（Si_3N_4）基板を調製した。

一方、熱伝導率が６０W／m・K未満の汎用で安価な基板としてそれぞれ熱伝導率が２０W／m・Kであり、厚さが前記Si_3N_4基板と等しい実施例７～９用のアルミナ（Al_2O_3）基板を製造した。

次に図８および図９に示すように、同じ厚さを有するSi_3N_4基板３０２とAl_2O_3基板３０２ａとを同一平面上で組み合せてそれぞれ複合基板３１０を形成した。すなわち半導体素子３０６を搭載する部位にはSi_3N_4基板３０２を配置する一方、その他の部位にはAl_2O_3基板３０２ａを配置して複合基板３１０とした。

次に図８および図９に示すように各窒化けい素基板３０２およびアルミナ基

板３０２ａの表面の回路層を形成する部位および裏面の金属板（銅板）を接合する部位に、３０ｗｔ％Ａｇ－６５％Ｃｕ－５％Ｔｉろう材をスクリーン印刷し乾燥して厚さ２０μｍの活性金属ろう材層３０７ａ，３０７ｂを形成した。この活性金属ろう材層３０７ａ，３０７ｂの所定位置に、タフピッチ電解銅から成る厚さ０．３㎜の銅回路板３０４と厚さ０．２５㎜値の金属板（裏銅板）３０５とを接触配置した状態で、真空中で温度８５０℃で１０分間保持して接合体とした。次に各接合体をエッチング処理することにより、所定回路パターン（回路層）を形成した。さらにSi_3N_4基板３０２上面に接合した銅回路板３０４の中央部に半田層３０８を介して半導体素子３０６を接合して実施例７～９に係る窒化けい素回路基板３０１を多数製造した。

比較例１

実施例７～９で使用したSi_3N_4基板３０２とAl_2O_3基板３０２ａとから成る複合基板３１０に代えて、熱伝導率ｋが１８２Ｗ／ｍ・Ｋであり厚さが０．８㎜の窒化アルミニウム（ＡｌＮ）焼結体のみなら成るセラミックス基板を使用した以外は実施例７～９と同様に活性金属法によって基板表面に銅回路板および金属板を一体に接合して比較例１に係るセラミックス回路基板を製造した。

このようにして調製した実施例７～９および比較例１に係る回路基板の最大たわみ量および抗折強度を測定したところ、実施例７～９に係る窒化けい素回路基板３０１は、従来の窒化アルミニウム基板のみを使用した比較例１の回路基板と比較して２倍以上の最大たわみ量と抗折強度とを有することが判明した。また窒化けい素回路基板の厚さを低減するに伴って、さらにたわみ量および抗折強度が改善されることも確認できた。さらに基板厚さの低減化により、熱抵抗が減少するため、回路基板全体としての放熱特性をさらに改善できることも確認できた。

上記各実施例の窒化けい素回路基板を、図９に示すようにヒートシンク３０

9に接合した後にアッセンブリ工程においてボードに実装したところ、締め付け割れが発生せず、回路基板を用いた半導体装置を高い製造歩留りで量産することができた。

また各回路回路基板について－45℃から室温（RT）まで加熱し、引き続き室温から＋125℃まで加熱した後に、室温を経て再び－45℃に冷却するまでを1サイクルとする昇温－降温サイクルを繰り返して付加し、基板部にクラック等が発生するまでのサイクル数を測定する耐熱サイクル試験を実施したところ、実施例7～9の窒化けい素回路基板では1000サイクル経過後においても、Si_3N_4 基板やAl_2O_3 基板の割れや金属回路板（Cu回路板）および金属板の剥離が皆無であり、優れた耐熱サイクル特性を示すことが判明した。一方、比較例1の回路基板においては、100サイクルでクラックが発生し、耐久性が低いことが確認された。

実施例10

実施例7～9において調製したSi_3N_4 基板であり熱伝導率kが70W／m・Kであり厚さがそれぞれ0．4㎜，0．6㎜，0．8㎜である各Si_3N_4 基板を酸化炉中で温度1300℃で12時間加熱することにより、基板の全表面を酸化し、厚さ2μmの酸化層を形成した。酸化層はSiO_2 皮膜で形成される。

一方、実施例7～9において調製したAl_2O_3 基板であり、熱伝導率kが20W／m・Kであり、厚さがそれぞれ0．4㎜，0．6㎜，0．8㎜である各Al_2O_3 基板を調製した。

次に図10に示すように同じ厚さを有するSi_3N_4 基板302とAl_2O_3 基板302aとを同一平面上で組み合せてそれぞれ複合基板310を形成した。すなわち半導体素子306を搭載する部位には、Si_3N_4 基板302を配置する一方、その他の部位にはAl_2O_3 基板302aを配置して複合基板310とした。

次に酸化層３０３を形成したSi_3N_4基板３０２と各Al_2O_3基板３０２ａとを複合化した複合基板３１０の表面側に、厚さ０．３mmのタフピッチ電解銅から成る銅回路板を接触配置する一方、背面側に厚さ０．２５mmのタフピッチ銅から成る金属板を裏当て材として接触配置させて積層体とし、この積層体を窒素ガス雰囲気に調整した温度１０７５℃の加熱炉に挿入して１分間加熱することにより、各複合基板３１０の両面に銅回路板または金属板を直接接合し、さらに半導体素子を半田接合して実施例１０に係る窒化けい素回路基板３０１ａをそれぞれ調製した。

各窒化けい素回路基板３０１ａは、図１０に示すようにSi_3N_4基板３０２の全表面にSiO_2から成る酸化層３０３が形成されており、Si_3N_4基板３０２とAl_2O_3基板３０２ａとから成る複合基板３１０の表面側に金属回路板としての銅回路板３０４が直接接合される一方、背面側に裏銅板としての金属板３０５が同様に直接接合され、さらにSi_3N_4基板３０２の表面側に接合した銅回路板３０４の所定位置に半田層３０８を介して半導体素子３０６が一体に接合された構造を有する。なお複合基板３１０の両面に銅回路板３０４または金属板３０５を接合した場合、裏銅板としての金属板３０５は放熱促進および反り防止に寄与するので有効である。

上記のように直接接合法によって回路層を形成した実施例１０に係る窒化けい素回路基板の最大たわみ量は０．８～１．６mmの範囲であり、また抗折強度は５５０～９００MPａの範囲であり、実施例７～９のように活性金属法で回路層を形成した場合と同等の特性値が得られた。また耐熱サイクル試験において１０００サイクル経過後においてもSi_3N_4基板およびAl_2O_3基板の割れや金属回路板および金属板の剥離が皆無であり、優れた耐熱サイクル特性を示した。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の半導体モジュールによれば、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板を使用しているため、熱サイクルや組立て時の衝撃力によって基板に割れが発生することが少なく、裏銅板（裏金属板）と、放熱性や構造強度を高めるためのヒートシンク板との両方は必要としない。したがって、半導体モジュールの構造が簡素化されて製造コストが大幅に低減されるとともに、小型化でき高密度実装も可能となる。

また、本発明の窒化けい素回路基板によれば、銅回路板などの金属板を接合した複数の高熱伝導性窒化けい素基板を、金属板を介して多層化している。よって、立体的なアッセンブリが可能となることによって、実装部や回路構成部の面積を増大させるとともに小型化でき、小型高実装が達成できる。

また基板に搭載する半導体素子等の発熱部品からの発熱は、高熱伝導性窒化けい素基板を経て迅速に系外に伝達されるため放熱性が極めて良好である。また、高強度高靭性である窒化けい素基板を使用しているため、モジュールや回路基板の最大たわみ量を大きく確保することができる。そのため、アッセンブリ工程においてモジュールの締め付け割れが発生せず、半導体モジュールを用いた半導体装置を高い製造歩留りで安価に量産することが可能になる。

また、本発明に係る窒化けい素回路基板によれば、窒化けい素焼結体が本来的に有する高強度高靭性特性に加えて特に熱伝導率を大幅に改善した高熱伝導性窒化けい素基板を、特に構造強度および放熱性を要求される部位に配置する一方、その他の部位にアルミナ基板や樹脂基板のように汎用で製造容易で安価な基板を配置し、両基板を同一平面上に配置して形成されているため、製造コストが安価である。また、高強度高靭性である窒化けい素基板を、構造強度が要求される部位に配置することにより、回路基板の最大たわみ量を大きく確保することができる。そのため、アッセンブリ工程において回路基板の締め付け

割れが発生せず、回路基板を用いた半導体装置を高い製造歩留りで安価に量産することが可能になる。

請求の範囲

1．熱伝導率が６０ｗ／ｍ・ｋ以上である高熱伝導性窒化けい素基板と、この高熱伝導性窒化けい素基板に搭載された半導体素子と、この高熱伝導性窒化けい素基板の半導体素子搭載面側に接合された金属回路板と、上記高熱伝導性窒化けい素基板の半導体素子非搭載面側に接合され、かつ機器ケーシングあるいは実装ボードに接合される金属板とを具備することを特徴とする半導体モジュール。

2．機器ケーシングあるいは実装ボードに接合される金属板の厚さが前記金属回路板の厚さ以下であることを特徴とする請求の範囲第１項記載の半導体モジュール。

3．機器ケーシングあるいは実装ボードに接合される金属板の厚さが前記金属回路板の厚さの２倍以上であることを特徴とする請求の範囲第１項記載の半導体モジュール。

4．高熱伝導性窒化けい素基板は、窒化けい素結晶相および粒界相から構成されるとともに粒界相中における結晶化合物相の粒界相全体に対する割合が２０％以上であることを特徴とする請求の範囲第１項記載の半導体モジュール。

5．高熱伝導性窒化けい素基板は、窒化けい素結晶相および粒界相から構成されるとともに粒界相中における結晶化合物相の粒界相全体に対する割合が５０％以上であることを特徴とする請求の範囲第１項記載の半導体モジュール。

6．高熱伝導性窒化けい素基板は、不純物陽イオン元素としてのＬｉ，Ｎａ，Ｋ，Ｆｅ，Ｃａ，Ｓｒ，Ｂａ，Ｍｎ，Ｂを合計で１．０重量%以下含有することを特徴とする請求の範囲第１項記載の半導体モジュール。

7．金属回路板および金属板は、前記高熱伝導性窒化けい素基板に直接接合法により接合されていることを特徴とする請求の範囲第１項記載の半導体モジュール。

8．前記金属回路板および金属板は、前記高熱伝導性窒化けい素基板に活性金属法により接合されていることを特徴とする請求の範囲第１項記載の半導体モジュール。

9．熱伝導率が６０ｗ／ｍ・ｋ以上である複数の高熱伝導高性窒化けい素基板と、この高熱伝導性窒化けい素基板に接合された金属板とを具備し、前記複数の高熱伝導性窒化けい素基板が前記金属板を介して多層化された部分を有することを特徴とする窒化けい素回路基板。

１０．熱伝導率が６０Ｗ／ｍ・Ｋ以上である高熱伝導性窒化けい素基板と熱伝導率が６０Ｗ／ｍ・Ｋ未満である基板とが同一平面上に配置されているとともに、少なくとも上記熱伝導率が６０Ｗ／ｍ・Ｋ以上の高熱伝導性窒化けい素基板に金属回路板が接合されていることを特徴とする窒化けい素回路基板。

１１．高熱伝導性窒化けい素基板は、窒化けい素結晶相および粒界相から構成されるとともに粒界相中における結晶化合物相の粒界相全体に対する割合が２０%以上であることを特徴とする請求の範囲第９項または第１０項記載の窒化けい素回路基板。

１２．高熱伝導性窒化けい素基板は、窒化けい素結晶相および粒界相から構成されるとともに粒界相中における結晶化合物相の粒界相全体に対する割合が５０％以上であることを特徴とする請求の範囲第９項または第１０項記載の窒化けい素回路基板。

１３．高熱伝導性窒化けい素基板は、不純物陽イオン元素としてのＬｉ，Ｎａ，Ｋ，Ｆｅ，Ｃａ，Ｓｒ，Ｂａ，Ｍｎ，Ｂを合計で１．０重量％以下含有することを特徴とする請求の範囲第９項または第１０項記載の窒化けい素回路基板。

１４．金属板または金属回路基板は、前記高熱伝導性窒化けい素基板に直接接合法により接合されていることを特徴とする請求の範囲第９項または第１０項記載の窒化けい素回路基板。

１５．金属板または金属回路基板は、前記高熱伝導性窒化けい素基板に活性金属法により接合されていることを特徴とする請求の範囲第９項または第１０項記載の窒化けい素回路基板。