

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-530563

(P2017-530563A)

(43) 公表日 平成29年10月12日(2017.10.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 35/08 (2006.01)	HO 1 L 35/08	
HO 1 L 35/32 (2006.01)	HO 1 L 35/32	A
HO 1 L 35/14 (2006.01)	HO 1 L 35/14	
HO 2 N 11/00 (2006.01)	HO 2 N 11/00	A

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2017-535155 (P2017-535155)
 (86) (22) 出願日 平成27年9月18日 (2015. 9. 18)
 (85) 翻訳文提出日 平成29年5月22日 (2017. 5. 22)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2015/057194
 (87) 国際公開番号 W02016/046713
 (87) 国際公開日 平成28年3月31日 (2016. 3. 31)
 (31) 優先権主張番号 M12014A001637
 (32) 優先日 平成26年9月22日 (2014. 9. 22)
 (33) 優先権主張国 イタリア (IT)

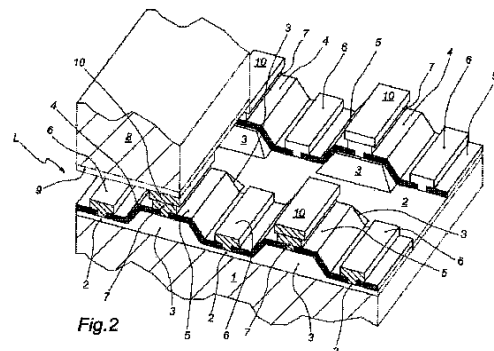
(71) 出願人 517098538
 コンソルツィオ デルタ ティ リサーチ
 イタリア国 イ - 20124 ミラノ
 、ミラノ、ヴィア ヴィトール ピザーニ
 16
 (74) 代理人 110000855
 特許業務法人浅村特許事務所
 (72) 発明者 マスコロ、ダニーロ
 イタリア国、ボローニャ、ボローニャ、ヴ
 ィア エッセ、ヴィターレ 33
 (72) 発明者 ブオシオーロ、アントニエッタ
 イタリア国、アヴェッリーノ、アリアノ
 イルピノ、ヴィア サンタ レジーナ 2
 5

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シリコン集積面外熱流束熱電発電機

(57) 【要約】

増強された電気収率は、基板ウェハ(1)上の面外熱流束構成の集積熱電発電機(iTEG)であって、熱電的に活性な多結晶半導体の熱伝導率よりも低い熱伝導率の材料の丘部(3)の傾斜対向側面に延在する、多結晶半導体のセグメントの画定された薄膜ラインの、交互にpドープ及びnドープされたセグメント(4、5)の並置された端部を結合する、丘上部接合金属コンタクト(7)及び谷底部接合金属コンタクト(6)を有する、集積熱電発電機を用いて、丘部(3)の間の、それぞれの丘上部接合金属コンタクト(7)とボンディングするように適合された、カップリング表面の上で画定された金属ボンドパッド(10)を有する、平面の電気非導電性カバー(8)によって上部で区切られた谷部空間(V)を空けたままにすることによって達成される。接合金属コンタクト(6、7)は、低アスペクト比の断面プロファイルを有し、セグメントの並置された端部部分をオーバーラップする2つのアームまたはウィングを備える。好ましくは、内部ボイドは、iTEGをパッケージングする際に真空化される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板ウェハ(1)上の面外熱流束構成の集積熱電発電機であって、前記平面発電機に対して垂直方向に流れる熱の一部を電気的に変換するのに有用な熱電的に活性な多結晶半導体の熱伝導率よりも低い熱伝導率の材料の丘部(3)の傾斜対向側面に延在する、前記多結晶半導体のセグメントの画定された薄膜ラインの、交互にpドープ及びnドープされたセグメント(4、5)の並置された端部を結合する、丘上部接合金属コンタクト(7)及び谷底部接合金属コンタクト(6)を有し、

前記丘部(3)の間のすべての谷部が、それぞれの丘上部接合金属コンタクト(7)とボンディングするように適合された、平面カバー(8)のカップリング表面の上で画定された金属ボンドパッド(10)を有する、非導電性の当該平面カバー(8)によって上部で区切られたボイド空間(V)であることを特徴とする、集積熱電発電機。

10

【請求項 2】

前記ボイド空間(V)が、パッケージングまたはバックエンド動作中に、前記基板ウェハ(1)と前記平面カバー(8)との間のサイドギャップを閉塞することによって、永久的に封止される、請求項1に記載の熱電発電機。

【請求項 3】

前記ボイド空間(V)が、パッケージングの際に真空化される、請求項1または2に記載の熱電発電機。

【請求項 4】

前記平面カバーが、前記基板ウェハ(1)と同様のウェハ(8)であり、前記カップリング表面の上の誘電体膜(9)であって、その上に画定された前記金属ボンドパッド(10)を互いに電気的に絶縁する誘電体膜(9)を有する、請求項1に記載の熱電発電機。

20

【請求項 5】

前記基板ウェハ(1)及び/または前記カバーウェハ(8)が、薄型または超薄型シリコン結晶ウェハである、請求項4に記載の熱電発電機。

【請求項 6】

前記平面カバーが、前記基板ウェハ(1)と同様のシリコンウェハ(8)であり、それらが、熱圧縮金属-金属ボンディング、プラズマボンディング、ベンゾシクロブテンボンディング、ポリイミドボンディング、金属間化合物ボンディング、固液相互拡散(SLID)ボンディング、共晶ボンディング、銅-酸化物ボンディング、金属-(金属酸化物)ボンディング、アノードボンディング、またはマイクロバンプ積層の群に属する技法に沿ってボンディングされる、請求項5に記載の熱電発電機。

30

【請求項 7】

前記基板シリコンウェハ(1)及び前記平面カバーシリコンウェハ(8)が、スマートカット加工によって、またはSoitecのSmart Stacking(商標)層転写技術を用いて一緒にボンディングされたマイクロ機械加工ウェハ(8)である、請求項5に記載の熱電発電機。

【請求項 8】

整合ボンディングが、チップ・ツー・チップ、チップ・ツー・ウェハ、もしくはウェハ・ツー・ウェハモードにおいて、またはチップ・オン・ウェハ・オン・サブストレートもしくはチップ・オン・チップ・オン・サブストレートモードにおいて行われる、請求項6に記載の熱電発電機。

40

【請求項 9】

前記接合金属コンタクト(6、7)が、低アスペクト比の断面プロファイルを有し、それぞれが、多結晶半導体のセグメントの画定されたライン(L)のpドープ及びnドープセグメント(4、5)の並置された端部部分をオーバーラップする2つのアームまたはウィングを備える、請求項1に記載の熱電発電機。

【請求項 10】

前記金属コンタクト(6、7)が、アルミニウム、銅、銀、またはそれらの合金である

50

、請求項 9 に記載の熱電発電機。

【請求項 1 1】

前記多結晶半導体薄膜を有する前記オーバーラップする金属コンタクトアームの電気接触が、 $TiSi_2$ 、 WSi_2 、 $MoSi_2$ 、 $PtSi_2$ 、及び $CoSi_2$ からなる群に属するシリサイドの膜からなるインターフェーシング多層を介して行われる、請求項 8 に記載の熱電発電機。

【請求項 1 2】

前記多結晶半導体薄膜を有する前記オーバーラップする金属コンタクトアームの電気接触が、前記金属と接触するチタン窒化物の膜及びW、Ti、Ta、からなる群に属する耐火性金属の中間膜からなるインターフェーシング多層を介して行われる、請求項 8 に記載の熱電発電機。

10

【請求項 1 3】

前記丘部(3)が、シリコン酸化物、シリコン窒化物、熱伝導に対する増強された抵抗の堆積酸化物、フォノン材料のナノメッシュ構造、及びナノスケールの薄膜シリコンの超格子からなる群に属する材料のものである、請求項 1 に記載の熱電発電機。

【請求項 1 4】

前記丘部(3)が、多結晶半導体のセグメント(4、5)の前記ラインに対して垂直な平行線に沿って、規則的に隔置され、切頭矩形の角錐形状、または1本の軸に沿った台形断面及びそれに対して垂直の真っ直ぐな側部または側面を有する、請求項 1 に記載の熱電発電機。

20

【請求項 1 5】

前記nドーブ及びpドーブ薄膜セグメントが、多結晶シリコンである、請求項 1 に記載の熱電発電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、概して、固体熱電デバイスに関し、具体的には、異質またはハイブリッドな3D集積化の平面加工技術及び関連する技法によって製作するのに適した熱電発電機(TEG)に関する。

【背景技術】

30

【0002】

熱電発電機(TEG)は、環境に優しい材料から作製されている以外に、顕著なロバスト性、信頼性、及び事実上無限の有効寿命の低エンタルピー廃熱利用デバイスとして、鋭意研究されている。

【0003】

ますます一般的になってきている電子デバイスの電力消費量が絶えず最小化されるにつれて、TEGは、電池またはスーパーキャパシタのような他のエネルギー貯蔵デバイスと共に、またはさらにそれらの代用となる補助電源とみなされ始めている。

【0004】

平面加工、マイクロマシニングインプラント及びポストインプラント処理、フリップチップ及びボンディング技法等のような、マイクロエレクトロニクス及び微小電子機械システム(MEMS)において展開される十分に確立された加工技法を活用する薄膜技術TEGに関する刊行物の数がますます増加している。

40

【0005】

Israel Bonicheによる博士号論文「Silicon-Micromachined Thermoelectric Generators for Power Generation from hot gas streams」、University of Florida、2010、及びDiana Davila Pinedaによる「Monolithic integration of VLS silicon nanowires into planar thermoelectri

50

c generators」、Autonomous University of Barcelona、2011は、固体熱ポンプ及び電力発電機用熱電デバイスの分野において、最新技術の実施の幅広い導入的な概要を提案する。

【0006】

概要は、シリコン適合性のマイクロ及びナノ技術によって製造されたTEGの2つの系統も包含する。第1の系統のデバイスでは、熱流は基板に対して平行であり、もう一方の系統のデバイスでは、熱流は基板に対して垂直である。これらの集積TEGのアーキテクチャは、一般に、n-pドープ脚部を有する多くの基本セルを備え、基本セルが熱的に並列かつ電氣的に直列になるように配列される。

【0007】

典型的に、熱が基板に対して平行に流れる集積TEGデバイスは、基板より数百マイクロメートル上に懸架された、非常に高い熱抵抗材料もしくは膜の上に堆積させた熱電的に活性な材料の導電性脚部を有し得るか、または活性材料自体の脚部が、独立している[膜を有しない]。

【0008】

他の関連する例は、以下に報告されている：

Huesgen, T.; Wois, P.; Kockmann, N. Design and fabrication of MEMS thermoelectric generators with high temperature efficiency. Sens. Actuators A 2008, 145-146, 423-429.

Xie, J.; Lee, C.; Feng, H. Design, fabrication and characterization of CMOS MEMS-based thermoelectric power generators. J. Micro mech. Syst. 2010, 19, 317-324.

Wang, Z.; Leonov, V.; Fiorini, P.; van Hoof, C. Realization of a wearable miniaturized thermoelectric generator for human body applications. Sens. Actuators A 2009, 156, 95-102.

Wang, Z.; Fiorini, P.; Leonov, V.; van Hoof, C. Characterization and optimization of polycrystalline Si70%Ge30% for surface micromachined thermopiles in human body applications. J. Micro mech. Microeng. 2009, doi:10.1088/0960-1317/19/9/094011.

Su, J.; Leonov, V.; Goedbloed, M.; van Andel, Y.; de Nooijer, M.C.; Elfrink, R.; Wang, Z.; Vullers, R.J. A batch process micromachined thermoelectric energy harvester: Fabrication and characterization. J. Micro mech. Microeng. 2010, doi:10.1088/0960-1317/20/10/104005.

Yang, S.M.; Lee, T.; Jeng, C.A. Development of a thermoelectric energy harvester with thermal isolation cavity by standard CMOS process. Sens. Actuators A 2009, 153, 244-250.

Kao, P.-H.; Shih, P.-J.; Dai, C.-L.; Liu, M.-C. Fabrication and characterization of CMOS-MEMS thermoelectric micro generators. S

10

20

30

40

50

sensors 2010, 10, 1315 - 1325.

Wang, Z.; van Andel, Y.; Jambunathan, M.; Leonov, V.; Elfrink, R.; Vullers, J. M. Characterization of a bulk-micromachined membraneless in-plane thermopile. *J. Electron. Mater.* 2011, 40, 499 - 503. 13.

Patent US 7,875,791 B1 "Method for manufacturing a thermopile on a membrane and a membrane-less thermopile, the thermopile thus obtained and a thermoelectric generator comprising such thermopiles" Vladimir Leonov, Paolo Fiorini, Chris Van Hoof (2011)

Miniaturized thermopile on a membrane are also described by A. Jacquot, W. L. Liu, G. Chen, J. P. Flrial, A. Dauscher, B. Lenoir, in "Fabrication and Modeling of an in-plane thermoelectric micro-generator", Proceedings ICT02. 21st International Conference on Thermoelectrics, p. 561 - 564 (2002).

【0009】

熱流が平行のTEG構造の他の例は、低熱伝導率の平面基板に数十ナノメートルの平均直径を有する平行かつ極めて細長い導体（ナノワイヤ）の集団を成長または画定し、最終的にタイルモジュールを積層して、熱電活性な隔壁を形成し、そこを通過して、熱が、平行なナノワイヤと同じ方向に流れる能力に依存する。論説の「A. I. Hochbaum, R. K. Chen, R. D. Delgado, W. J. Liang, E. C. Garnett, M. Najarian, A. Majumdar, and P. D. Yang, *Nature* 451, 163 - U5 (2008)」及び「A. I. Boukai, Y. B. unimovich, J. Tahir-Kheli, J. - K. Yu, W. A. Goddard Iii, and J. R. Heath, *Nature* 451, 168 - 171 (2008)」、PCT国際公開特許WO2009/125317号、欧州特許第1,083,610号、PCT国際公開特許WO2011/007241号、PCT国際公開特許WO2011/073142号は、このようなアプローチに従う実施の概要を提案する。

【0010】

米国特許第7,875,791 B1号（Leonovらによる）は、膜層によって支持され得る、または自立型であり得るサーモパイルについて開示している。これらのデバイスの外見上容易な製造性にもかかわらず、熱は、複雑な構造における著しい熱損失を伴う移動をせざるを得ない。加えて、場合によっては、初期基板の上面または底面において熱源への熱接触を確実にするための接着を必要とする。その結果、システムレベルでの不十分な熱結合、損失の大きい熱経路、及び機械的脆性というサーモパイルの性能を不利にするすべての特徴をもたらす。

【0011】

TEGデバイスの第2の系統は、多くの場合、「面外」熱流束TEGと称される。それらは、基板に対して垂直に熱が流れることを特徴とする。これらのデバイスにおいて、熱電的に活性な材料は、通常、基板に直立する高アスペクト比の支持構造上に敷設されるか、またはその一部である。より精巧かつ一見高価な製作プロセスにもかかわらず、この構成は、熱損失を最小限にして、全体的な性能を高めるシステムレベルでの熱結合を簡略化する。

【0012】

10

20

30

40

50

従来のCMOS\BiCMOS\MEMs材料及びプロセスによって製造されることにより、「面外」熱流束TEGは、他の用途の中でも、マイクロ電子及び光電子デバイスにおける小型化及び集積化に適している。

【0013】

M. Strasserらによる「Miniaturized Thermoelectric Generators Based on Poly-Si and Poly-SiGe Surface Micromachining」(The 11th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Munich, Germany, June 10-14, 2001において提示された)、及び「Micromachined CMOS Thermoelectric Generators as On-Chip Power Supply」(The 12th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators and Microsystems, Boston, USA, June 8-12, 2003において提示された)において、例が報告されている。

10

【0014】

面外または垂直熱流束薄膜構造は、無数の用途、例えば、エネルギー回収もしくは収穫するためのマイクロ発電に対して、または複合的な集積システムにおける温度管理に対して有用である

【0015】

IC製作プロセスと適合する一般の半導体または任意の材料に基づく、所与の熱流からの電力収率及び先行技術の面外または垂直熱流束デバイスの設置面積に対する電力収率は、まだ乏しく、より効率的かつ電力集中的なデバイスを必要としている。

20

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0016】

著しく増加した変換効率は、添付の特許請求の範囲に記載されるように、新規の「Z-デバイス」構造を有するシリコン集積適合性の面外(または垂直)熱流束TEGによって達成され、その内容は、この説明の必須部分であり、明確な参照によって本明細書に組み込まれることを意図する。

30

【0017】

基本的には、典型的に、連続して交互するp型及びn型の堆積させた半導体薄膜の画定されたトラクトまたはセグメントの上の谷部において、かつ谷底接合部でp型半導体の画定されたセグメントの並置された端部とn型半導体の画定されたセグメントの並置された端部との間に電氣的連続性を提供する金属ブリッジの上に堆積される酸化物(例えばシリコン酸化物)であり、一般に台形断面の隔置された丘部の間の、典型的なZ-デバイスプロファイルの基本セルの画定された半導体薄膜脚部を敷設する対向する傾いた側面の上の誘電体充填剤を通じて、通常生じる熱伝導による内部バイパス熱伝達は、比較的低いプロファイル(すなわち、低アスペクト比)の接合金属コンタクト、及び低減された障害を実現することによって、かつ谷部空間を空のままにし、このため、もはや誘電体酸化物で充填することも、p型及びn型脚部の並置された端部の電氣的接続の高いプロファイルの金属ブリッジをホストすることも行わないことによって、著しく低減される。

40

【0018】

Z-デバイスの高温金属接合部から低温金属接合部への内部バイパス熱伝達を低減することは、他の要因以外に、集積熱発電機(iTEG)の供給電力が、金属コンタクトの2つの段の間の温度差の2乗と同じになるという事実からみて、効率上の優性効果を有する。

【0019】

好ましい実施形態によれば、ポイド空間は、そこを通る熱対流の寄与を実質的に排除するために仕上げデバイスをパッケージングする際に、真空化され、Z-デバイス構造の半

50

導体薄膜ラインに沿った熱電的に有用な熱伝導経路ではなく、バイパス経路に沿って高温接合金属コンタクトから低温接合金属コンタクトへ熱伝達する。

【0020】

新規アーキテクチャの態様によれば、(例えば、高濃度ドーブポリSiまたはポリSiGeの)ドーブ多結晶半導体のラインのpドーブ及びnドーブ薄膜セグメントを接続し、規則的に隔置された丘部のラインのすべての誘電体、断熱丘部の片側及び対向する側面にそれぞれ、延在する、谷底部及び丘上部の接合金属コンタクトの両方は、堆積させた金属層の画定されたトラクトの形態であり、交互の低温及び高温熱電接合を電氣的に直列に接続するための半導体薄膜のpドーブ脚部の並置された端部部分及びnドーブ脚部の並置された端部部分を部分的にオーバーラップし、これによって単一の鎖または複数の鎖において組織化される。

10

【0021】

丘部は、一般に、頂部が切断(切頭)された長方形(または矩形)のピラミッド(角錐)形状を有してもよく、またはそれらは、1つの軸に沿った台形の断面とそれに対して直交する垂直の直線の側部もしくは側面を有してもよいが、円錐台の形状を含む他の形状も使用され得る。

【0022】

丘部の材料は、その上に支持される材料であるp型及びn型の脚部の材料の熱伝導率よりも低い、低熱伝導率を有するべきである。実質的に平坦な底部に向けてエッチングされた谷部の壁を傾かせるために、丘部は、熱成長(例えば、いわゆるロコス酸化物)させるものであってもよく、または酸化物、オキシ窒化物、シリコン窒化物などの材料の堆積層のものであってもよく、またはさらに、シリコンのナノスケール薄膜の超格子などの意図的に形成されたナノメートルの長のスケール構造のフォノン材料のものであってもよく、最終的に、連続的に及び/または最終的に段階的にマスキング及び制御されたエッチング条件下でエッチングされる。

20

【0023】

接合金属コンタクトのこの形状は、谷底接合部(コヒーレントに低温または高温丘上接合部に相対的に高温または低温)に関する限り関係し、隣接する丘部の間の、pドーブ及びnドーブ半導体薄膜導電性脚部を敷設する傾いた側面の上に、内部分離空間が残り、これは、エンブティ空間によってもたらされる低減された熱伝達を完全に活用するために実質的に塞がれない。

30

【0024】

これらの内部ボイド空間は、平面カバーのカップリング表面の上に画定された金属コンタクトを有し、それぞれの丘上部接合金属コンタクトとボンディングするように適合された、平面カバーによって上部で閉じられる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本開示の基本的な実施形態による集積Z-デバイスの基本セルの断面図である。

【図2】集積Z-デバイス構造の2本のラインの基本セルを示す断片的な三次元断面図である。

40

【図3】回路への接続パッドと電氣的に直列である多くのセルのストリングの集積TEGモジュールを構成する基本セルの平行な導電性ラインの可能なレイアウトを示す。

【図4】高温の丘上部金属接合部と低温の谷底部金属接合部との間の温度差のもとで、集積TEGデバイスによって生成される電流の流路を示す、集積セルの導電部を直列に配列した三次元図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

図1及び図2を参照すると、シリコンウェハ1は、その上に面外(垂直)熱流束型の集積TEGの新規のZ-デバイス構造を製作するための基板として使用される。

【0027】

50

任意のサイズ及び一般に、675マイクロメートル(μm)を超えない厚さを有する市販のシリコンウェハが使用され得る。

【0028】

一般に、1ナノメートル(nm)~1マイクロメートル(μm)、好ましくは約10nmからなり得る実質的に一様な厚さの誘電体ベース層2は、著しい熱抵抗を導くことなく必要な底部の電気絶縁を提供する。

【0029】

マイクロマシニング加工の十分に確立された技法に従い、例えば、熱的に成長させた、または第1に成長させたベース層2のマスクされていないエリアの上に堆積させた厚い酸化物などの比較的低い熱伝導率材料の隔壁された丘部3の配列は、一般に、最大0.1~50 μm からなり得る高さである。丘部3の典型的な傾斜した側面は、その間の谷部を画定し、その実質的に平坦な底部は、一般に、丘部3の上部の幅と同様に、0.1~100 μm 、最も好ましくは0.2~50 μm からなる幅を有してもよい。

10

【0030】

代替的に、実質的に平坦な底部に対して、ベース平面から好ましくは45~85度からなる傾斜角だけ徐々にエッチングされた谷部の壁を傾かせるために、制御された等方性エッチング条件下で、一連のマスキング及びエッチングステップによって、堆積させた酸化物、またはシリコン窒化物などの他の材料の層から開始される丘部3を画定してもよい。

【0031】

様々な量のリン及び/または水素不純物、ならびに構造的障害を促進する特定の加工及びポスト加工条件で堆積させたLPCVDシリコン酸化物(re: Y. S. Ju and K. E. Goodson, 「Process-dependent thermal transport properties of silicon-dioxide films deposited using low-pressure chemical vapor deposition」、AIP Journal of Applied Physics, Volume 85, Number 10, 7130-7134)は、熱伝導に対する増強された抵抗の丘部3を基板ウェハ1の酸化表面上に形成され得る効果的な材料でもある。

20

【0032】

2つの両側が適切に傾斜した熱伝導に対する増強された抵抗の丘部3が、基板ウェハの酸化表面上に形成され得る、さらに別の代替的な材料は、フォノンシリコンのナノメッシュ構造の系統である(re: Jen-Kan Yu, S. Mitrovic, D. Tham, J. Varghese, 及びJ. R. Heathによる「Reduction of thermal conductivity in phononic nanomesh structures」、Nature Nanotechnology, Vol. 5, October 2010, (著作権) 2010 Macmillan Publishers Lim.)。

30

【0033】

切頭された長方形(または矩形)ピラミッド(角錐)形状の丘部3または1つの軸に沿って台形の断面と、それに直交する直線の側部または側面を有する丘の対向する傾いた表面上に画定された多結晶ドーパ半導体薄膜セグメントまたは脚部に沿って生産的な熱伝導の経路の代替となる熱伝導流のバイパス経路をさらに不利にするために、丘部の材料は、その上に支持された導電材料のp型及びn型脚部の材料の熱伝導率よりも著しく低い、低熱伝導率を有するべきである。

40

【0034】

熱電的に活性な多結晶半導体の熱伝導率よりも熱伝導率が低い好適な材料、及びそれぞれの熱伝導係数の例を以下の表に報告する。

【表 1】

材料	厚さ [nm]	伝導率 [WmK]
熱SiO ₂	>250	~1.2
SiO ₂ (PECVD@300C)	30~50	0.82±0.02
SiO ₂ (PECVD@300C)	90~180	1.00±0.10
SiO ₂ (PECVD@300C)	>200	~1.2 (バルク)
SiN _x (PECVD@300C)	20~40	0.55±0.05
SiN _x (PECVD@300C)	60~120	0.65±0.05
SiN _x (APCVD@900C)	180	~1.45

10

【0035】

基板表面上の誘電体ベース層の上に実現されたフォノンシリコンのナノスケール薄膜の超格子の丘部3は、集積TEG構造の丘部3の熱伝導率を顕著に低減させることができる別の代替物である。

20

【0036】

例えば、SiまたはSiGeでドーブされ、底部分離誘電体2及び隔置された丘部3の上に実質的に一様な厚さの薄膜の形態でそれぞれ配置された多結晶半導体材料のpドーブ及びnドーブである4及び5の交互の画定されたトラクトまたはセグメントの平行線は、丘部3の上部上の2つの隣接する接合部に対して谷底部で接合部を電氣的に接続する熱電材料の2つの脚部を構成する(すなわち、Z-デバイス構造のユニットまたは基本セル)。セグメント4及び5の堆積させたドーブ多結晶シリコン層は、概して10~1000nmからなる厚さを有し得るが、企図する用途、基本セル構造のスケーリング、使用される多結晶半導体材料の特性、及び集積TEGの設計選択に応じて、1マイクロメートル以上の厚さでもあり得る。

30

【0037】

一連のセルの導電性ライン(鎖)において、基本集積モジュールまたはセルのストリングに沿ったp-n接合の形成を回避するために、谷底部及び丘上部において、またはその逆において、それぞれ物理的に低温及び高温接合部は共に、それぞれ6及び7の低アスペクト比の金属コンタクトによって構成され、多結晶薄膜半導体のpドーブセグメントまたは脚部5の画定された端部と多結晶薄膜半導体のnドーブ熱電セグメントまたは脚部4の画定された端部との間の中断ギャップを電氣的にブリッジングする。

【0038】

多結晶半導体の2つのセグメント4及び5の端部部分に延在し、それらと電気接触する接合金属コンタクト6及び7の堆積金属層は、実質的に平面の谷底部及び丘上部に敷設されるそれらの部分の大部分に対して、約0.1~約5µmの範囲の厚さを有し得る。

40

【0039】

図面の断面図は、基本セルの熱電氣的に活性な材料の導電性脚部4及び5の特徴的な「Zプロファイル」をよく表す。

【0040】

好ましくは、多結晶半導体薄膜をオーバーラップする金属間をインターフェースする多層が存在し、そこでの金属と半導体材料との間の電気界面抵抗を制御し、最終的に、金属コンタクトの金属バルク、すなわち、谷底部コンタクト6及び丘上部コンタクト7に向けての熱伝導を低減するために熱伝導率対導電率を不均衡にする。拡大レンズで示すように

50

、効果的なインターフェーシング多層は、多結晶ドーパ半導体と接触するTiSi₂、WSi₂、MoSi₂、PtSi₂、及びCoSi₂の群に属するシリサイドの1~50nmの膜6a、中間のWまたはTiの1~10nm厚の膜6b、ならびにAlもしくはAl-Si合金または銅の金属層6、7と接触するTiNの5~30nm厚の膜6cを含んでもよい。

【0041】

新規の集積面外TEG構造の好ましい実施形態によれば、隔置された丘部3の平行線または他の配列の間のポイド谷部空間は、第2のウェハ8によって上部で閉じられ、ウェハの表面の上に形成された薄い誘電体層9が提供され、それを電氣的に非導電性にして、かつその後、その上に金属ボンダッド10が画定され、金属ボンダッド10は、CMP平坦化の後、拡散層の有無にかかわらず、多くのフリップチップボンディング技法のうちの1つに従って、好ましくは、熱圧縮金属間ボンディングCu-Cu、W-W、Ti-Tiなどの整合ボンディング技法を使用して、または、プラズマボンディング(Y-Ox/Y-Ox)、PECVD SiO₂-SiO₂、ベンゾシクロブテン(BCB)-BCBボンディングを介して、それぞれの丘上部金属コンタクト7とボンディングするように適合される。BCB及び様々なポリマーまたはポリイミドなどのハイブリッドボンディング技法、金属層、このようなTi膜及び金属間化合物(IMC)、Cu-Sn固液相互拡散(SLID)ボンディング、Au-SnまたはAu-In共晶ボンディングを、アノードボンディング(陽極接合)またはマイクロバンプ積層と同様に、代替的に使用してもよい。

10

20

【0042】

また、米国特許第5,374,564号に記載される、いわゆる、スマートカット加工または層転写技術である、SoitecのSmart Stacking(商標)を使用してもよい。

【0043】

フリップチップ整合ボンディングは、TEGデバイスダイスが連続的に切断され、パッケージングされる加工済みのウェハ全体で行われてもよく、または代替的にその切断されたダイスで行われてもよい。一般に、特定の用途に応じて、本開示のTEGデバイスを実現するための整合ボンディングは、チップ・ツー・チップ、チップ・ツー・ウェハ、ウェハ・ツー・ウェハモードにおいて、またはチップ・オン・ウェハ・オン・サブストレートもしくはチップ・オン・チップ・オン・サブストレートアプローチに従い行われてもよい。

30

【0044】

好ましくは、上部及び底部の両方のウェハは、デバイス製造後に機械的または化学的処理、例えば、機械的研削、乾燥研磨、化学機械研削、スピンエッチングの化学機械研磨、及びプラズマドライエッチングを含む、商業用のウェハの厚さを低減することを目的とする裏面薄化プロセスに供されてもよい。目的は、原厚を100μm未満、または40μm未満の超薄値まで低減することである。ウェハの薄化は、集積面外TEG構造の全体的な熱抵抗を低減し、これを次世代の3D集積回路における展開に適したものにす。

40

【0045】

図2において、集積Z-デバイス構造の基本セルの2本のラインLの特徴を示す、断片的な三次元断面スケッチが観察され得る。

【0046】

谷底部及び丘上部接合金属コンタクト6及び7に結合された、半導体材料の交互のpドーパ及びnドーパ4及び5の画定された領域またはセグメントの平行な導電性ラインが、隔置された丘部3の配列ラインに垂直に作られる様式が直ちに認識され得る。

【0047】

導電性ラインLの幅は、一般に、0.1~500μm、より好ましくは0.5~10μmからなり得る。

【0048】

50

マイクロセルの複数のライン L は、通常、電氣的に直列、例えば多くの隣接して集積される平行線の配列において接続される。図 3 は、接続パッド A 及び B と終端接続するすべてのライン L のセル数の合計に対応する電氣的直列におけるセルのストリングからなる集積 T E G モジュールを構成するための基本セルの 5 本の平行線 L の導電部の例示的なレイアウトを示す。

【 0 0 4 9 】

2 本のライン L の隣接する端部の接続は、平面からの多結晶半導体脚部 4、5 の対向する端部間のギャップ空間を充填するための第 1 に堆積させた金属層を除去した後、横方向の金属接続 6' を画定する、すなわち、第 2 に堆積させた金属層のマスキング及び選択エッチングステップにより画定することによって実現される。

10

【 0 0 5 0 】

図 4 の直列のセルの導電部の配列の三次元の図において、矢印は、高温丘上部金属接合 7 と低温谷底部金属接合 6 との間の温度差のもとで集積 T E G デバイスによって生成される電流の流路を表す。

【 0 0 5 1 】

当然のことながら、端子 A 及び B で生成される D C 電圧は、ストリングのすべての基本の直列接続セルによって展開された D C 電圧の合計に対応する。

【 0 0 5 2 】

T E G デバイスは、多数のモジュール式集積マルチセル T E G を含んでもよく、各々が用途の必要性に従って生成された電力を収穫または活用する 1 つまたはいくつかの外部回路に接続するための 2 つのパッドを必要とする。外部に組織化されるパッケージングされたデバイスの複数のモノリシック集積 T E G の 1 つまたはいくつかの直列 / 並列ネットワークのために、デバイスは、個々の集積 T E G ごとに 2 本のピンを構成しなければならない。その結果、所望される数の個々に集積された T E G を提供する以外に、モノリシック集積の適切なマルチ T E G レイアウトは、パッケージングされたデバイスが有し得るピンの最大数と適合されなければならない。

20

【 0 0 5 3 】

代替的に、仕上げられた T E G デバイスは、大量の開回路出力電圧を達成するために、直列化を最大限にすることを選択することによって、出力ピンのペアをほとんど有しなくてもよいか、またはさらには 2 - ピンデバイスであってもよい。

30

【 図 1 】

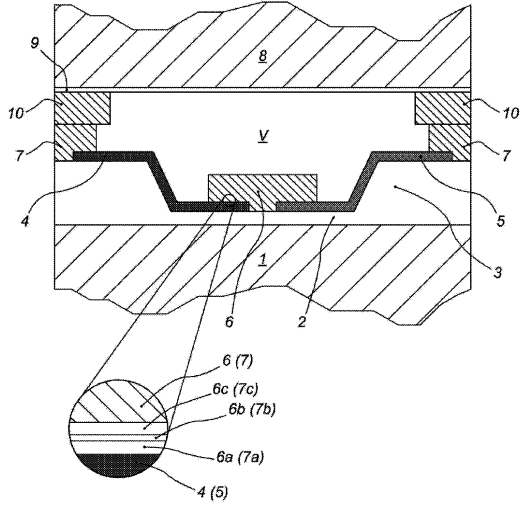


Fig.1

【 図 2 】

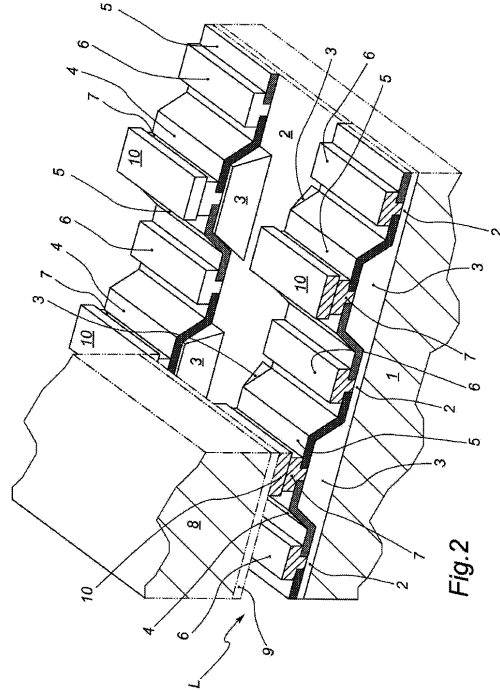


Fig.2

【 図 3 】

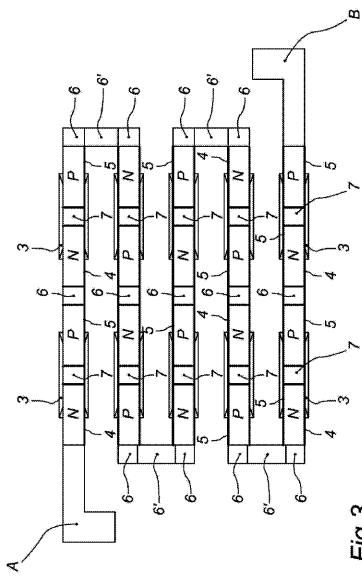


Fig.3

【 図 4 】

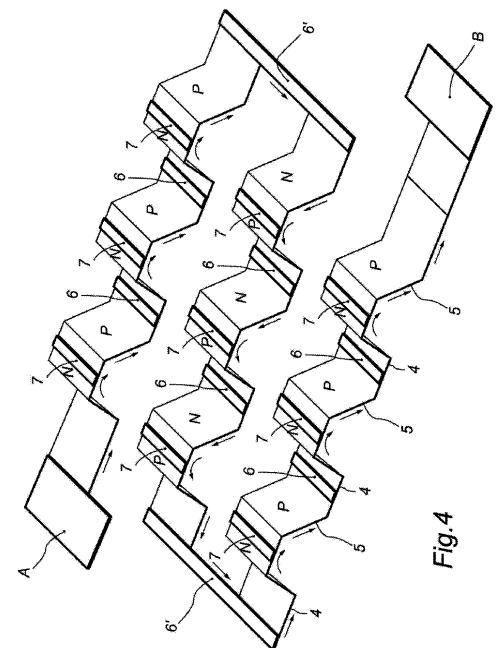


Fig.4

【手続補正書】

【提出日】平成29年6月9日(2017.6.9)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

面外熱流束構成の集積熱電発電機であって、基板ウェハ(1)と、前記平面発電機に対して垂直方向に流れる熱の一部を電気的に変換するのに有用な、多結晶半導体の熱伝導率よりも低い熱伝導率の材料であって谷部と丘部(3)を形成する当該熱伝導率の材料の丘部(3)の傾斜対向側面に延在する、前記多結晶半導体のセグメントの画定された薄膜ラインの、交互にpドープ及びnドープされた、セグメント(4、5)の並置された端部を結合する、丘上部接合金属コンタクト(7)及び谷底部接合金属コンタクト(6)を有し、

前記丘部(3)の間のすべての前記谷部が、それぞれの前記丘上部接合金属コンタクト(7)とボンディングするように適合された、平面カバー(8)のカップリング表面上で画定された金属ボンドパッド(10)を有する、非導電性の当該平面カバー(8)によって上から区切られたボイド空間(V)であることを特徴とする、集積熱電発電機。

【請求項2】

前記ボイド空間(V)を永久的に封止するように前記基板ウェハ(1)と前記平面カバー(8)の間のサイドギャップが閉塞されている、請求項1に記載の熱電発電機。

【請求項3】

前記ボイド空間(V)が真空化されている、請求項1または2に記載の熱電発電機。

【請求項4】

前記平面カバーが、前記基板ウェハ(1)と同様のウェハ(8)であり、前記カップリング表面上の誘電体膜(9)であって、その上に画定された前記金属ボンドパッド(10)を互いに電気的に絶縁する誘電体膜(9)を有する、請求項1に記載の熱電発電機。

【請求項5】

前記基板ウェハ(1)及び/または前記カバーウェハ(8)が、薄型または超薄型シリコン結晶ウェハである、請求項4に記載の熱電発電機。

【請求項6】

前記平面カバーが、前記基板ウェハ(1)と同様のシリコンウェハ(8)であり、熱圧縮金属-金属ボンディング、プラズマボンディング、ベンゾシクロブテンボンディング、ポリイミドボンディング、金属間化合物ボンディング、固液相互拡散(SLID)ボンディング、共晶ボンディング、銅-酸化物ボンディング、金属-(金属酸化物)ボンディング、アノードボンディング、またはマイクロバンプ積層の群に属する技法に沿ってボンディングされる、請求項5に記載の熱電発電機。

【請求項7】

前記基板シリコンウェハ(1)及び前記平面カバーシリコンウェハ(8)が、スマートカット加工によって、または層転写技術を用いて一緒にボンディングされたマイクロ機械加工ウェハ(8)である、請求項5に記載の熱電発電機。

【請求項8】

整合ボンディングが、チップ・ツー・チップ、チップ・ツー・ウェハ、もしくはウェハ・ツー・ウェハモードにおいて、またはチップ・オン・ウェハ・オン・サブストレートもしくはチップ・オン・チップ・オン・サブストレートモードにおいて行われる、請求項6に記載の熱電発電機。

【請求項9】

前記接合金属コンタクト(6、7)が、低アスペクト比の断面プロファイルを有し、そ

れぞれが、多結晶半導体のセグメントの画定されたライン(L)の、pドーブ及びnドーブセグメント(4、5)の並置された端部部分をオーバーラップする2つのアームまたはウィングを備える、請求項1に記載の熱電発電機。

【請求項10】

前記金属コンタクト(6、7)が、アルミニウム、銅、銀、またはそれらの合金である、請求項9に記載の熱電発電機。

【請求項11】

前記多結晶半導体薄膜を有する前記オーバーラップする金属コンタクトアームの電気接触が、 $TiSi_2$ 、 WSi_2 、 $MoSi_2$ 、 $PtSi_2$ 、及び $CoSi_2$ からなる群に属するシリサイドの膜からなるインターフェーシング多層を介して行われる、請求項8に記載の熱電発電機。

【請求項12】

前記多結晶半導体薄膜を有する前記オーバーラップする金属コンタクトアームの電気接触が、前記金属と接触するチタン窒化物の膜及びW、Ti、Ta、からなる群に属する耐火性金属の中間膜からなるインターフェーシング多層を介して行われる、請求項8に記載の熱電発電機。

【請求項13】

前記丘部(3)が、シリコン酸化物、シリコン窒化物、熱伝導に対する増強された抵抗の堆積酸化物、フォノン材料のナノメッシュ構造、及びナノスケールの薄膜シリコンの超格子からなる群に属する材料のものである、請求項1に記載の熱電発電機。

【請求項14】

前記丘部(3)が、多結晶半導体のセグメント(4、5)の前記ラインに対して垂直な平行線に沿って、規則的に隔置され、切頭矩形の角錐形状、または1本の軸に沿った台形断面及びそれに対して垂直の真っ直ぐな側部または側面を有する、請求項1に記載の熱電発電機。

【請求項15】

前記nドーブ及びpドーブ薄膜セグメントが、多結晶シリコンである、請求項1に記載の熱電発電機。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/IB2015/057194

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01L27/16 H01L35/32 ADD.		
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) H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP H10 303469 A (SHARP KK) 13 November 1998 (1998-11-13) abstract; figures 1-21 -----	1-15
A	US 2006/102223 A1 (CHEN HOWARD H [US] ET AL CHEN HOWARD HAO [US] ET AL) 18 May 2006 (2006-05-18) paragraph [0026] - paragraph [0057]; figures 2A-2K,3,4,5 -----	1-15
A	JP H04 101472 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 2 April 1992 (1992-04-02) abstract; figures 1,2 -----	1-15
A	JP 2005 328000 A (RITSUMEIKAN; TOKAI RIKA CO LTD) 24 November 2005 (2005-11-24) abstract; figures 1-14 -----	1-15
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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		Date of mailing of the international search report
22 October 2015		30/10/2015
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Kirkwood, Jonathan

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/IB2015/057194

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/100809 A2 (HEUSLER ISABELLENHUETTE [DE]; HETZLER ULLRICH [DE]) 20 August 2009 (2009-08-20) page 9, line 12 - page 13, line 9; figures 1-3 -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2015/057194

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP H10303469	A	13-11-1998	NONE	

US 2006102223	A1	18-05-2006	CN 1773740 A	17-05-2006
			TW 1359516 B	01-03-2012
			US 2006102223 A1	18-05-2006
			US 2009217961 A1	03-09-2009

JP H04101472	A	02-04-1992	NONE	

JP 2005328000	A	24-11-2005	JP 4422548 B2	24-02-2010
			JP 2005328000 A	24-11-2005

WO 2009100809	A2	20-08-2009	DE 102008009428 A1	27-08-2009
			WO 2009100809 A2	20-08-2009

 フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ラテッサ、ジュゼッペ

イタリア国、ローマ、ローマ、ヴィア エミリオ ガローリ 4 3

(72)発明者 ブッカー、ゲオルグ

イタリア国、トレント、ペルジーネ ヴァルスガナ、ヴィア スポルヴェリーネ 7 2

(72)発明者 ゲーリニャン、メール

イタリア国、トレント、メルタ ディ ガルドロ、ヴィア サルテリオ 1 8

(72)発明者 ディ マルコ、シモーネ

イタリア国、フィレンツェ、フィレンツェ、ヴィア デル テルツォーレ 1 1