(19)日本国特許庁(JP)　　(12)公表特許公報(A)　　(11)公表番号
特表2024-513304
(P2024-513304A)
(43)公表日　令和6年3月25日(2024.3.25)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｈ０１Ｌ　25/07　(2006.01)		Ｈ０１Ｌ	25/08	Ｙ	５Ｆ０３３
Ｈ０１Ｌ　21/3205(2006.01)		Ｈ０１Ｌ	21/88	Ｔ	

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全30頁）

(21)出願番号　特願2023-553418(P2023-553418)
(86)(22)出願日　令和4年3月2日(2022.3.2)
(85)翻訳文提出日　令和5年10月31日(2023.10.31)
(86)国際出願番号　PCT/US2022/018574
(87)国際公開番号　WO2022/187402
(87)国際公開日　令和4年9月9日(2022.9.9)
(31)優先権主張番号　63/156,290
(32)優先日　令和3年3月3日(2021.3.3)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　17/684,841
(32)優先日　令和4年3月2日(2022.3.2)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(81)指定国・地域　AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA
最終頁に続く

(71)出願人　518065991
アデイア セミコンダクター ボンディング テクノロジーズ インコーポレイテッド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３４ サンノゼ オーチャード パークウェイ ３０２５
(74)代理人　100094569
弁理士　田中 伸一郎
(74)代理人　100103610
弁理士　▲吉▼田 和彦
(74)代理人　100109070
弁理士　須田 洋之
(74)代理人　100098475
弁理士　倉澤 伊知郎
(74)代理人　100130937
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　直接接合のためのコンタクト構造

(57)【要約】
接合構造が開示される。接合構造は、第１の導電性特徴と第１の非導電性領域とを有する第１の素子を含むことができる。第１の導電性特徴は、５００ｎｍ以下の平均粒径を有する細粒金属を含むことができる。接合構造は、第２の導電性特徴と第２の非導電性領域とを含む第２の素子を含むことができる。第１の導電性特徴は、接着剤を介在させることなく第２の導電性特徴に直接接合され、第２の非導電性領域は、接着剤を介在させることなく第２の非導電性領域に直接接合される。
【選択図】　図２

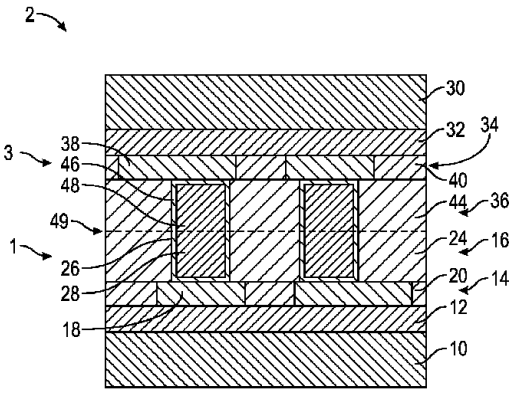


FIG. 2

【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の導電性特徴と第１の非導電性領域とを有する第１の素子であって、前記第１の導電性特徴が５００ｎｍ以下の平均粒径を有する細粒金属を含む、第１の素子と、
第２の導電性特徴と第２の非導電性領域とを有する第２の素子と、
を備えた接合構造であって、
前記第１の導電性特徴は、接着剤を介在させることなく前記第２の導電性特徴に直接接合され、前記第２の非導電性領域は、接着剤を介在させることなく前記第２の非導電性領域に直接接合される、接合構造。
【請求項２】
前記第１の導電性特徴は銅を含む、請求項１に記載の接合構造。
【請求項３】
前記第１の導電性特徴の粒子は、５００ｎｍ未満の最大粒径を有する、請求項１に記載の接合構造。
【請求項４】
前記第１の導電性特徴の粒子は、３５０ｎｍ未満の最大粒径を有する、請求項３に記載の接合構造。
【請求項５】
前記第１の導電性特徴の粒子は、５０ｎｍ未満の最大粒径を有する、請求項４に記載の接合構造。
【請求項６】
前記第２の導電性特徴の粒子の平均粒径は５００ｎｍ以下である、請求項１に記載の接合構造。
【請求項７】
前記第２の導電性特徴は粗粒金属を含む、請求項１に記載の接合構造。
【請求項８】
前記第２の導電性特徴の粒子の平均粒径は１μｍを超える、請求項７に記載の接合構造。
【請求項９】
前記第１の導電性特徴の前記細粒金属の平均粒径は３５０ｎｍ以下である、請求項１に記載の接合構造。
【請求項１０】
前記第１の導電性特徴の前記細粒金属の平均粒径は、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲にある、請求項９に記載の接合構造。
【請求項１１】
前記第１の導電性特徴の粒子の９５％超が、粒径ばらつきが１０％未満である、請求項１に記載の接合構造。
【請求項１２】
前記第１の素子は、導電性部分を有するメタライゼーション層を更に備える、請求項１に記載の接合構造。
【請求項１３】
前記メタライゼーション層の前記導電性部分は、１μｍ～２μｍの範囲の平均粒径を有する金属を含む、請求項１２に記載の接合構造。
【請求項１４】
前記第１の導電性特徴の前記細粒金属は、不活性材料のナノ粒子を含む、請求項１に記載の接合構造。
【請求項１５】
前記ナノ粒子の濃度は、前記第１の導電性特徴の１％未満である、請求項１４に記載の接合構造。
【請求項１６】

前記ナノ粒子の濃度は、前記第１の導電性特徴の０．１％未満である、請求項１５に記載の接合構造。
【請求項１７】
前記ナノ粒子は、酸化シリコン、アルミナ、及び酸化チタンのうちの１又は２以上を含む、請求項１４に記載の接合構造。
【請求項１８】
前記細粒金属は構成成分を含む、請求項１に記載の接合構造。
【請求項１９】
第１の導電性特徴と第１の非導電性領域とを有する第１の素子であって、前記第１の導電性特徴が、構成成分を有する細粒金属を含む、第１の素子と、
第２の導電性特徴と第２の非導電性領域とを有する第２の素子と、
を備えた接合構造であって、
前記第１の導電性特徴は、接着剤を介在させることなく前記第２の導電性特徴に直接接合され、前記第２の非導電性領域は、接着剤を介在させることなく前記第２の非導電性領域に直接接合される、接合構造。
【請求項２０】
前記構成成分は、ホウ素、インジウム、リン、ガリウム、ニッケル、コバルト、スズ、マンガン、チタン、バナジウム及びセレンのうちの少なくとも１つを含む、請求項１９に記載の接合構造。
【請求項２１】
前記第１の導電性特徴は、５００ｎｍ以下の平均粒径を有する細粒金属を含む、請求項１９に記載の接合構造。
【請求項２２】
前記第１の導電性特徴の前記細粒金属の平均粒径は、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲にある、請求項２１に記載の接合構造。
【請求項２３】
接合面を有する素子を備えた相互接続構造であって、
前記素子は、導電性特徴と非導電性領域とを有し、前記導電性特徴は、前記非導電性領域に少なくとも部分的に埋め込まれ、前記導電性特徴は、底部と前記底部の上に配置された上部とを備え、前記上部は、前記素子の前記接合面のより近くに位置決めされ、前記上部は、前記底部の平均粒径よりも小さい平均粒径を有し、
前記上部の前記平均粒径は５００ｎｍ以下である、
相互接続構造。
【請求項２４】
請求項２３に記載の相互接続構造と、第２の素子とを備えた接合構造。
【請求項２５】
半導体素子の非導電性層にキャビティを設けるステップと、
前記キャビティ内に導電性コンタクト構造を設けるステップであって、前記導電性コンタクト構造が、５００ｎｍ未満の平均粒径を備えた細粒構造を有する、ステップと、
前記非導電性層と前記導電性コンタクト構造を直接接合のために準備するステップと、
を含む、方法。
【請求項２６】
前記導電性コンタクト構造は銅を含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項２７】
前記平均粒径は３５０ｎｍ未満である、請求項２５に記載の方法。
【請求項２８】
前記平均粒径は１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲にある、請求項２７に記載の方法。
【請求項２９】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．５％未満の添加剤を有する銅電気めっき浴を設けるステップと、前記導電性コンタクト構造を前記キャビティ内に電気めっ

きするステップとを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項３０】
前記添加剤は、ホウ素、インジウム、リン、ガリウム、ニッケル、コバルト、スズ、マンガン、チタン、バナジウム及びセレンのうちの１又は２以上を含む、請求項２９に記載の方法。
【請求項３１】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、電気的に不活性なナノ粒子を有する銅電気めっき浴を設けるステップを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項３２】
前記電気的に不活性なナノ粒子は、酸化シリコン、アルミナ、及び酸化チタンのうちの１又は２以上を含む、請求項３１に記載の方法。
【請求項３３】
前記ナノ粒子の濃度は、１体積％未満である、請求項３２に記載の方法。
【請求項３４】
前記ナノ粒子の濃度は、０．１体積％未満である、請求項３３に記載の方法。
【請求項３５】
前記導電性コンタクト構造の金属粒回復は、室温及び１２０℃未満の温度で抑制される、請求項２５に記載の方法。
【請求項３６】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、３０℃未満の温度で前記キャビティを電気めっきするステップを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項３７】
５℃～１５℃の範囲の温度で前記キャビティを電気めっきするステップを更に含む、請求項３６に記載の方法。
【請求項３８】
５℃～１５℃の範囲の温度で前記非導電性層及び前記導電性コンタクト構造を化学機械的に研磨するステップを更に含む、請求項３７に記載の方法。
【請求項３９】
接着剤を介在させることなく、前記半導体素子の前記非導電性層を第２の半導体素子の第２の非導電性層に直接接合するステップを更に含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項４０】
前記導電性コンタクト構造を前記第２の半導体素子の第２の導電性コンタクト構造に接触させるように前記半導体素子及び前記第２の半導体素子をアニールするステップを更に含む、請求項３９に記載の方法。
【請求項４１】
前記アニールするステップは、３００℃未満の温度で行われる、請求項４０に記載の方法。
【請求項４２】
前記アニールするステップは、２５０℃未満の温度で行われる、請求項４１に記載の方法。
【請求項４３】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲の電流密度を使用して前記キャビティを電気めっきするステップを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項４４】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１Ｍ～０．４Ｍの銅イオンと０．１Ｍ～１Ｍの酸とを有する電気めっき浴を設けるステップを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項４５】
前記非導電性層を設けるステップは、集積回路デバイス上への堆積を含み、前記細粒構

造を有する前記導電性コンタクト構造で前記キャビティを充填する前に、前記キャビティの少なくとも側壁をバリア層で裏打ちするステップを更に含む、請求項２４に記載の方法。

【請求項４６】

半導体素子の非導電性層にキャビティを設けるステップと、

前記キャビティ内に導電性コンタクト構造を設けるステップであって、前記導電性コンタクト構造が細粒構造を有するステップと、

前記非導電性層と前記導電性コンタクト構造を直接接合のために準備するステップと、を含む方法。

【請求項４７】

前記導電性コンタクト構造は銅を含む、請求項４６に記載の方法。

【請求項４８】

前記導電性コンタクト構造の粒子の大部分は、５００ｎｍ以下の粒子径を有する、請求項４６に記載の方法。

【請求項４９】

前記粒子の前記大部分は、３５０ｎｍ以下の粒子径を有する。請求項４８に記載の方法。

【請求項５０】

前記粒子の前記大部分は、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲の粒子径を有する、請求項４９に記載の方法。

【請求項５１】

前記導電性コンタクト構造の粒子の平均粒径は５００ｎｍ以下である、請求項４６に記載の方法。

【請求項５２】

前記平均粒径は３５０ｎｍ未満である、請求項５１に記載の方法。

【請求項５３】

前記平均粒径は１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲にある、請求項５２に記載の方法。

【請求項５４】

前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．５％未満の添加剤を有する銅電気めっき浴を設けるステップと、前記導電性コンタクト構造を前記キャビティ内に電気めっきするステップとを含む、請求項４６に記載の方法。

【請求項５５】

前記銅電気めっき浴は、０．１％未満の添加剤を有する、請求項５４に記載の方法。

【請求項５６】

前記添加剤は、ホウ素、インジウム、リン、ガリウム、ニッケル、コバルト、スズ、マンガン、チタン、バナジウム及びセレンのうちの１又は２以上を含む、請求項５５に記載の方法。

【請求項５７】

前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、電気的に不活性なナノ粒子を有する銅電気めっき浴を設けるステップを含む、請求項４６に記載の方法。

【請求項５８】

前記電気的に不活性なナノ粒子は、酸化シリコン、アルミナ、及び酸化チタンのうちの１又は２以上を含む、請求項５７に記載の方法。

【請求項５９】

前記ナノ粒子の濃度は、１体積％未満である、請求項５８に記載の方法。

【請求項６０】

前記ナノ粒子の前記濃度は、０．１体積％未満である、請求項５９に記載の方法。

【請求項６１】

前記導電性コンタクト構造の金属粒回復は、室温で及び１２０℃未満の温度で抑制される、請求項４６に記載の方法。

【請求項６２】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、３０℃未満の温度で前記キャビティを電気めっきするステップを含む、請求項４６に記載の方法。
【請求項６３】
５℃～１５℃の範囲の温度で前記キャビティを電気めっきするステップを更に含む、請求項６２に記載の方法。
【請求項６４】
５℃～１５℃の範囲の温度で前記非導電性層及び前記導電性コンタクト構造を化学機械的に研磨するステップを更に含む、請求項６３に記載の方法。
【請求項６５】
接着剤を介在させることなく、前記半導体素子の前記非導電性層を第２の半導体素子の第２の非導電性層に直接接合するステップを更に含む、請求項４６に記載の方法。
【請求項６６】
前記導電性コンタクト構造を前記第２の半導体素子の第２の導電性コンタクト構造に接触させるよう前記半導体素子及び前記第２の半導体素子をアニールするステップを更に含む、請求項６５に記載の方法。
【請求項６７】
前記アニールするステップは、３００℃未満の温度で行われる、請求項６６に記載の方法。
【請求項６８】
前記アニールするステップは、２５０℃未満の温度で行われる、請求項６７に記載の方法。
【請求項６９】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲の電流密度を使用して前記キャビティを電気めっきするステップを含む、請求項４６に記載の方法。
【請求項７０】
前記電流密度は、４０ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲にある、請求項６９に記載の方法。
【請求項７１】
前記導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１Ｍ～０．４Ｍの銅イオンと０．１Ｍ～１Ｍの酸とを有する電気めっき浴を設けるステップを含む、請求項４６に記載の方法。
【請求項７２】
前記電気めっき浴は、３０ｐｐｍ～７０ｐｐｍの範囲のハロゲン化物イオンを有する、請求項７１に記載の方法。
【請求項７３】
前記非導電性層を設けるステップは、集積回路デバイス上への堆積を含み、前記細粒構造を有する前記導電性コンタクト構造で前記キャビティを充填する前に、前記キャビティの少なくとも側壁をバリア層で裏打ちするステップを更に含む、請求項４６に記載の方法。
【請求項７４】
前記非導電性層を設けるステップは、前記集積回路デバイス上の再配線層への堆積を含む、請求項７３に記載の方法。
【請求項７５】
第１の導電性特徴と第１の非導電性領域とを有する第１の素子と、
第２の導電性特徴と第２の非導電性領域とを有する第２の素子と、
を備えた接合構造であって、
前記第１の導電性特徴は、接着剤を介在させることなく前記第２の導電性特徴に直接接合されることにより接合界面が形成され、前記接合界面の粒子数は４０を超える数であり

、前記第２の非導電性領域は、接着剤を介在させることなく前記第２の非導電性領域に直接接合される、接合構造。
【請求項７６】
前記第１の導電性特徴は、５００ｎｍ以下の平均粒径を有する細粒金属を含む、請求項７５に記載の接合構造。
【請求項７７】
前記第１の導電性特徴は、約０．０１μｍ～２５μｍの範囲の最大横方向寸法を有する、請求項７５に記載の接合構造。
【請求項７８】
前記第１の導電性特徴は、１μｍ未満の前記最大横方向寸法を有する、請求項７７に記載の接合構造。
【請求項７９】
前記接合界面の全面積は約１００μm^2よりも小さい、請求項７５に記載の接合構造。
【請求項８０】
前記接合界面の前記全面積は２μm^2よりも小さい、請求項７９に記載の接合構造。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
（関連出願の相互参照）
本出願は、２０２１年３月３日に出願された「直接接合のためのコンタクト構造」と題する米国特許仮出願第６３／１５６２９０号に対する優先権を主張するものであり、その内容全体が引用により本明細書に組み込まれる。
【０００２】
（技術分野）
本分野は、直接接合のためのコンタクト構造に関する。
【背景技術】
【０００３】
半導体ウェハなどの半導体素子は、積層されて、接着剤なしで互いに直接接合することができる。例えば、一部のハイブリッド直接接合構造では、素子の非導電性フィールド領域は、互いに直接接合することができ、また、対応する導電性コンタクト構造は互いに直接接合することができる。
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
一部の適用例では、対向するコンタクトパッド間に信頼性の高い電気接続を作成することが困難な場合がある。従って、直接接合用の改善されたコンタクト構造に対する継続的な必要性が依然として存在する。
【０００５】
ここで、以下の図面を参照して特定の実施構成について説明するが、これらは、限定ではなく例証として提供される。
【図面の簡単な説明】
【０００６】
【図１Ａ】第１の素子を形成する中間段階における構造の概略側断面図である。
【図１Ｂ】接合前の第１の素子の概略断面側面図である。
【図２】第１の素子及び第２の素子を有する接合構造の概略側断面図である。
【図３】粗粒銅の粒子を示す、粗粒銅の概略上面図である。
【図４】一実施形態による細粒銅の粒子を示す、細粒銅の概略上面図である。
【図５】細粒銅パッドと従来の銅パッドに関する、温度と平均抵抗の関係を示すグラフである。
【図６Ａ】接合構造の概略側断面図である。

【図６Ｂ】一実施形態による接合構造の概略側断面図である。
【図６Ｃ】別の実施形態による接合構造の概略側断面図である。
【図６Ｄ】別の実施形態による接合構造の概略側断面図である。
【図７Ａ】従来の銅パッド又は粗粒銅パッドのトップダウン電子後方散乱回折（ＥＢＳＤ）画像である。
【図７Ｂ】ナノ双晶銅パッドのトップダウンＥＢＳＤ画像である。
【図７Ｃ】一実施形態による細粒銅パッドのトップダウンＥＢＳＤ画像である。
【発明を実施するための形態】
【０００７】
本開示は、設計された金属粒子構造を用いて電子素子内の導電性パッドを直接接合する方法を記載する。このような粒設計は、直接ハイブリッド接合などの直接金属接合に有利とすることができる。例えば、２又は３以上の半導体素子（集積デバイスダイ、ウェハなど）を互いに積層又は接合して、接合構造を形成することができる。一方の素子の導電性コンタクトパッドは、別の素子の対応する導電性コンタクトパッドに電気接続することができる。何れかの適切な数の素子を接合構造内に積層することができる。本明細書に記載する方法及び接合パッド構造は、他の状況でも同様に有用とすることができる。
【０００８】
一部の実施形態では、素子は接着剤なしで互いに直接接合される。様々な実施形態において、第１の素子の非導電性（例えば、半導体又は無機誘電体）材料は、接着剤なしで第２の素子の対応する非導電性（例えば、半導体又は無機誘電体）フィールド領域に直接接合することができる。様々な実施形態において、第１の素子の導電性領域（例えば、金属パッド又はコンタクト構造）は、接着剤なしで第２の素子の対応する導電性領域（例えば、金属パッド又はコンタクト構造）に直接接合することができる。非導電性材料は、第１の素子の非導電性接合領域又は接合層と呼ぶ場合がある。一部の実施形態では、第１の素子の非導電性材料は、少なくとも米国特許第９，５６４，４１４号；第９，３９１，１４３号；及び第１０，４３４，７４９号において開示される直接接合技術を用いた接着剤なしの接合技術で第２の素子の対応する非導電性材料に直接接合することができ、これら特許の各々の内容全体は、あらゆる目的で引用により本明細書に組み込まれる。ハイブリッド接合の追加の例は、米国特許第１１，０５６，３９０号全体にわたって見出すことができ、その内容全体は、あらゆる目的で引用により本明細書に組み込まれる。別の適用例では、接合構造において、第１の素子の非導電性材料は、第２の素子の導電性材料に直接接合することができるので、第１の素子の導電性材料は第２の素子の非導電性材料と密接に噛み合うようになる。直接接合に適した誘電体接合面又は材料には、酸化シリコン、窒化シリコン、又は酸窒化シリコンなどの無機誘電体が非限定的に含まれ、或いは炭化シリコン、酸炭窒化シリコン、低Ｋ誘電体材料、ＳＩＣＯＨ、炭窒化ケイ素又はダイヤモンド状炭素などの炭素、或いはダイヤモンド表面を含む材料を含めることができる。このような炭素含有セラミック材料は、炭素が含まれているにも拘わらず、無機と見なすことができる。
【０００９】
様々な実施形態において、接着剤を介在させずに直接接合を形成することができる。例えば、半導体又は誘電体の接合面は、高い平滑度まで研磨することができる。接合面は、洗浄し、プラズマ及び／又はエッチャントに曝して、接合面を活性化させることができる。一部の実施形態では、活性化後又は活性化中に（例えばプラズマ及び／又はエッチングプロセス中に）、接合面を化学種で終端させることができる。理論に限定されることなく、一部の実施形態では、活性化プロセスを実行して、接合面の化学結合を切断することができ、終端プロセスは、直接接合中の結合エネルギを向上させる付加的な化学種を接合面に提供することができる。一部の実施形態では、活性化及び終端処理は、例えば、接合面を活性化して終端させるプラズマ又はウェットエッチャントなど、同じステップで提供される。別の実施形態では、接合面は、別個の処理で終端させて、直接接合のために付加的な化学種を提供することができる。様々な実施形態において、終端化学種は窒素を含むこ

とができる。更に、一部の実施形態では、接合面をフッ素に曝すことができる。例えば、層及び／又は接合界面、特に誘電体接合界面の近くに、１又は２以上のフッ素ピークが存在することができる。このように、直接接合構造において、２つの非導電性材料間の接合界面は、より高い窒素含有量及び／又はフッ素ピークを接合界面に有する、極めて平滑な界面を含むことができる。活性化及び／又は終端処理の更なる例は、米国特許第９，５６４，４１４号；第９，３９１，１４３号；及び第１０，４３４，７４９号全体にわたって見出すことができ、これら特許の各々の内容全体は、あらゆる目的で引用により本明細書に組み込まれる。

【００１０】

様々な実施形態において、第１の素子の導電性コンタクトパッドはまた、第２の素子の対応する導電性コンタクトパッドに直接接合することができる。例えば、直接ハイブリッド接合技術を用いて、上述のように用意された、共有結合的に直接接合した誘電体－誘電体間表面を含む接合界面に沿って導体－導体間直接接合を設けることができる。様々な実施形態において、導体－導体間（例えば、コンタクトパッド－コンタクトパッド間）の直接接合及び誘電体－誘電体間のハイブリッド接合は、少なくとも米国特許第９，７１６，０３３号及び第９，８５２，９８８号に開示される直接接合技術を用いて形成することができ、これらの各々の内容全体は、あらゆる目的で引用により本明細書に組み込まれる。本明細書に記載する接合構造は、非導電性領域の接合を伴わない直接金属接合、又は他の接合技術にも有用とすることができる。

【００１１】

一部の実施形態では、無機誘電体接合面を準備し、上述のように接着剤を介在させずに互いに直接接合することができる。導電性コンタクトパッド（非導電性誘電体のフィールド領域に囲まれることができる）はまた、接着剤を介在させずに互いに直接接合することができる。一部の実施形態では、それぞれのコンタクトパッドは、誘電体フィールド領域又は非導電性接合領域の外面（例えば、上面）の下方に、例えば、３０ｎｍ未満、２０ｎｍ未満、１５ｎｍ未満、又は１０ｎｍ未満だけ凹状にし、例えば、２ｎｍ～２０ｎｍの範囲、又は４ｎｍ～１０ｎｍの範囲で凹状にすることができる。誘電体材料の熱膨張係数（ＣＴＥ）は、例えば０．１ｐｐｍ／℃～５ｐｐｍ／℃の範囲とすることができ、導電性材料のＣＴＥは、６ｐｐｍ／℃～４０ｐｐｍ／℃、又は８ｐｐｍ／℃～３０ｐｐｍ／℃の範囲とすることができる。誘電体材料のＣＴＥと導電性材料のＣＴＥの差異により、その後の導電性材料の横方向膨張が抑制される。非導電性接合領域は、一部の実施形態では室温で接着剤なしで互いに直接接合させることができ、その後、接合された構造をアニールすることができる。アニールされると、コンタクトパッドは、非導電性接合領域に対して膨張して互いに接触し、金属－金属間の直接接合を形成することができる。有利には、カリフォルニア州サンノゼのＸｐｅｒｉ社から市販されているＤｉｒｅｃｔ　Ｂｏｎｄ　Ｉｎｔｅｒｃｏｎｎｅｃｔ、すなわちＤＢＩ（登録商標）などのハイブリッド接合技術を使用すると、直接接合界面にわたって接続された高密度のパッド（例えば、規則的な配列に関する小ピッチ又は微細ピッチ）が可能である。様々な実施形態では、導電性特徴（ｃｏｎｄｕｃｔｉｖｅ　ｆｅａｔｕｒｅ）（例えば、コンタクトパッド）は銅を含むことができるが、他の金属も好適とすることができる。従って、本開示において導電性特徴の材料として銅を使用する場合、銅は導電性特徴の材料の一例であり、他の適切な金属を実施することもできる。

【００１２】

このように、直接接合プロセスでは、接着剤を介在させることなく、第１の素子を第２の素子に直接接合することができる。一部の構成では、第１の素子は、個片化された集積デバイスダイなどの個片化素子を含むことができる。他の構成では、第１の素子は、個片化されたときに複数の集積デバイスダイを形成する、複数の（例えば数十の、数百の、又はそれを超える）デバイス領域を含むキャリア又は基板（例えば、ウェハ）を含むことができる。同様に、第２の素子は、個片化された集積デバイスダイなどの個片化素子を含むことができる。他の構成では、第２の素子は、キャリア又は基板（例えば、ウェハ）を含

むことができる。一部の実施形態では、個片化素子は、直接又は間接遷移型半導体材料を含むことができる。一部の実施形態では、異なるＣＴＥを有する複数のダイは同じキャリア上に接合することができる。一部の実施形態では、接合されるダイの基板のＣＴＥは、キャリアの基板のＣＴＥと類似している。別の実施形態では、接合されるダイの基板のＣＴＥは、キャリアの基板のＣＴＥとは異なる。接合されるダイの間、又は接合されるダイとキャリアとの間のＣＴＥの差は、１ｐｐｍ／℃～７０ｐｐｍ／℃の範囲にあり、３０ｐｐｍ／℃未満、例えば、１２ｐｐｍ／℃未満とすることができる。

【００１３】

本明細書で説明するように、第１の素子と第２の素子は、接着剤なしで互いに直接接合させることができ、これは堆積プロセスとは異なる。従って、第１及び第２の素子は、非堆積型素子を含むことができる。更に、直接接合構造は、堆積された層とは異なり、接合界面に沿ってナノボイドが存在する欠陥領域を含む可能性がある。ナノボイドは、接合面の活性化（例えば、プラズマへの曝露）が原因で形成される場合がある。上記で説明されたように、接合界面は、活性化及び／又は最終化学処理プロセスに由来する物質の集中を含むことができる。例えば、活性化のために窒素プラズマを利用する実施形態では、接合界面に窒素ピークを形成することができる。活性化に酸素プラズマを利用する実施形態では、接合界面に酸素ピーク又は酸素富化層を形成することができる。一部の実施形態では、接合界面は、窒素終端シリコン、酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、炭化シリコン、酸炭化シリコン、酸炭窒化シリコンなど、窒素で終端させた無機非導電性材料を含むことができる。従って、接合層の表面は、窒化シリコン、酸窒化シリコン、酸炭窒化シリコン、又は炭窒化シリコンを含むことができ、接合界面に存在する窒素のレベルは、直接接合の前の素子の少なくとも１つに関する窒素終端を表している。窒素含有誘電体を除いて、非導電性材料の窒素含有量は、通常、表面又は表面近傍でピークに達する勾配を有する。一部の実施形態では、窒素及び窒素関連部分は、接合界面に存在しないものとすることができる。本明細書で説明するように、直接接合は、ファンデルワールス結合よりも強い共有結合を含むことができる。接合層はまた、高い平滑度まで平坦化された研磨表面を含むことができる。

【００１４】

導電性特徴の粒径は、比較的低温で接合するという導電性特徴の傾向と、接合された導電性特徴間の接合強度とに影響を与える可能性がある。一般に、接合界面近傍の粒径は、導電性特徴の表面で（接合前の）又は導電性特徴の断面図で観察することができる。１つの目標は、対向する素子上の導電性特徴の粒界が互いに交差して、移動性、ひいては直接接合を促進できるようにすることであり、粒径は、接合される導電性特徴の横方向サイズに対して測定することができる。導電性特徴は、銅のコンタクトパッド又は線などの金属特徴を含むことができる。比較的小さな粒子を備えた導電性特徴は、エネルギ的に不安定である可能性があり、大きな粒子と比べて小さな粒子は、所与の等温アニール条件又は所与の時間のより低温に関して、遥かに低いサーマルバジェットでより大きな粒子に成長することができる。従って、比較的小さい粒径を有する導電性特徴は、最小限の加熱でも比較的高い接合強度で互いに接合することができ、比較的小さい粒径での直接接合の場合に、より低いアニール温度を達成することができる。比較的小さい粒径を備えたこのような導電性特徴間の接合強度は、所与のアニール温度に対して単結晶又は大粒径の導電性特徴間の接合強度よりも大きい。粒内及び／又は粒界にある過剰な不純物は、粒成長を妨げる又は阻害する可能性がある。

【００１５】

導電性特徴は、細粒銅めっき膜などの細粒金属めっき膜を含むことができる。細粒銅めっき膜は、５０ｎｍ～５００ｎｍの平均粒径、例えば、１０ｎｍ～５００ｎｍの範囲、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲、１０ｎｍ～１５０ｎｍの範囲、１０ｎｍ～１００ｎｍの範囲、１０ｎｍ～７５ｎｍの範囲、又は１０ｎｍ～５０ｎｍの範囲にある平均粒径を有する膜である。現在では、集積回路における標準的な配線工程の銅めっき膜は、１μｍ～１０μｍの範囲にある平均粒径を有する。導電性特徴内の粒数は、導電性特徴のフィーチャサイ

ズに少なくとも部分的に依存する可能性がある。例えば、標準的な銅製導電性特徴のフィーチャサイズが０．５μｍである場合、標準的な銅製導電性特徴は、接合界面に１～３個の粒子を含む。細粒金属導電性特徴のフィーチャサイズが０．５μｍである場合、細粒金属導電性特徴は、０．５μｍの標準的な銅製導電性特徴と比べて５～１０倍大きな粒子を含むことができる。

【００１６】

導電性特徴の原子に関する最速拡散経路は、温度、微細構造の性質、微細構造欠陥、硬度、粒径、膜の不純物含有量、膜応力、界面密着性、原子の表面移動度などに依存する可能性がある。格子拡散は、例えば銅の場合、約２ｅＶという最高の活性化エネルギを有することができる。粒界及び界面に沿う拡散の活性化エネルギは、格子拡散の活性化エネルギよりも大幅に低い（例えば、一例としてＣｕの場合に約０．７ｅＶ）。従って、一部の実施形態では、格子拡散は原子物質移動の最も遅い経路であり、粒界拡散は、原子物質移動の最も速い拡散経路とすることができる。また、銅のクリープに関する活性化エネルギは、粒界拡散の値と類似する可能性がある。更に、クリープ速度は粒径の３乗に反比例して変化する可能性がある。

【００１７】

より小さな粒子は、その粒径の理由から、より大きな粒子よりも遥かに大きな粒界表面積を有することができる。小粒の導電性特徴の粒界表面積は、大粒の導電性特徴の粒界表面積と比べて１０倍、５０倍、２５０倍、又は１０００倍を超える可能性がある。比較的小さい粒子を備えた導電性特徴は、比較的大きい又は粗い粒子を備えた導電性特徴よりも高いクリープ速度を有する可能性がある。高いクリープ速度は、低いクリープ速度と比較して、より高い接合傾向に寄与する可能性がある。比較的小さい粒子は、細粒と呼ぶことができる。例えば、１０ｎｍ未満、５０ｎｍ未満、１００ｎｍ未満、３００ｎｍ未満、又は５００ｎｍ未満の最大幅を有する粒子を細粒として定めることができる。粗粒は通常、最大幅が１μｍ～２μｍ、又はこれを超えるものとすることができる。低い活性化エネルギで比較的大きな拡散経路に寄与することができる、細粒のより高いクリープ速度と細粒の比較的大きな粒界表面積は、最大寸法が５μｍ未満（例えば、１μｍ）の微細構造など、比較的小さな導電性特徴又は構造において特に有利であり、このことは、このような構造が、大きな粒子を有する導電性特徴を備えた構造と比較して、より低い温度で接合できることに起因する。本明細書に記載する実施形態の接合パッド、ビア（例えば、ＴＳＶ）、トレース、又は基板貫通電極などの導電性特徴は、約０．０１μｍ～２５μｍ、約０．１μｍ～１０μｍ、約０．５μｍ～８μｍ、約２μｍ～５μｍ、約１μｍ～３μｍ、又は約０．０１μｍから１μｍの範囲にある最大横方向寸法を有することができる。比較的小さな接合パッドの一例は、例えば、約１００μｍ^{2}未満、５０μｍ^{2}未満、２０μｍ^{2}未満、１０μｍ^{2}未満及び２μｍ^{2}未満である、接合界面での導電性特徴の露出領域全体又は接合される導電性領域を有することができる。

【００１８】

様々な実施形態において、コンタクトパッド間の金属－金属間接合は、導電性材料の粒子（例えば銅粒）が接合界面を横切って互いの中へ成長するように結合させることができる。一部の実施形態では、銅は、接合界面を横切る銅の拡散を向上させるために、（１１１）結晶面に沿って鉛直に配向した粒子を有することができる。しかしながら、一部の実施形態では、銅の他の結晶面をコンタクトパッド表面に対して鉛直に配向させることができる。非導電性接合界面は、接合されたコンタクトパッドの少なくとも一部分まで実質的に完全に延びることができるので、接合されたコンタクトパッド又はその近傍にある非導電性接合領域間には実質的にギャップが存在しない。細粒直接接合の相互接続を有する一部の実施形態では、極めて小さなボイドが接合界面に沿って、又は接合界面に近接して核生成を生じる可能性がある。接合された素子の導電性特徴に関する接合界面の又はそれに近い断面におけるボイドの幅は、例えば、断面幅の５％未満、１％未満、又は０．１％未満とすることができる。一部の実施形態では、コンタクトパッド（例えば、銅を含むことができる）の下に、バリア層を設けることができる。しかしながら、別の実施形態では、

例えば、引用によりその全体があらゆる目的のために本明細書に組み込まれる米国特許第１１，１９５，７４８号に記載されるように、コンタクトパッドの下にバリア層が存在しない場合がある。

【００１９】

金属－金属間の直接接合又はサーマルバジェットを形成するアニール温度及びアニール時間は、直接接合部品の製造において極めて重要である。理想的には、接合温度から室温まで冷却する際にＣＴＥの不整合に関連する応力を最小限に抑えるため、極めて類似したＣＴＥ又はＣＴＥの差が小さい素子を接合することが好ましい場合がある。接合された素子間の密着度が適切であると仮定すると、接合された素子内でのＣＴＥ関連の応力は、接合温度に比例し、接合構造内の個々の素子に関するＣＴＥの差に比例する可能性がある。接合温度が高いほど、ＣＴＥ関連の応力が大きくなる可能性がある。同様に、素子間でＣＴＥの差が大きいほど、ＣＴＥ関連の応力が大きくなる可能性がある。接合構造における高い応力は、接合された素子又は素子の積層にマイクロクラック、層間剥離、及び／又は大きな反りなどの欠陥を誘発する可能性があるため、望ましくない場合がある。非導電性接合面及び導電性接合領域をそれぞれに有する２つの素子を直接接合するために、対向する非導電性接合面は、例えば１２０℃未満の温度で接合することができる。対向する導電性接合領域は、２５０℃～４５０℃の範囲にある接合温度で接合させることができ、接合所要時間は、１５分～６時間の範囲とすることができる。状況によって、接合時間は６時間を超える可能性がある。接合温度が高いと、適用例によっては接合時間が短くなる可能性がある。一般に、高い接合温度を使用するほど、接合構造に欠陥をもたらす可能性が高くなる。上述のことから、比較的低温で導体－導体間（例えば、金属－金属間）の接合を直接形成する方法が望ましい場合がある。

【００２０】

一部の実施形態では、素子間でＣＴＥ差のある２つの基板の直接接合において、サーマル（エネルギ）バジェットの消耗を最小限に抑えるために、アニール温度及び／又はアニール時間を低下させることが望ましい場合がある。本明細書に開示する様々な実施形態は、例えば、１０ｎｍ～５００ｎｍの範囲、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲、１０ｎｍ～１５０ｎｍの範囲、１０ｎｍ～１００ｎｍの範囲、１０ｎｍ～７５ｎｍの範囲、又は１０ｎｍ～５０ｎｍの範囲にあるなど、平均粒径が５００ｎｍ以下、３５０ｎｍ以下、３００ｎｍ以下、又は５０ｎｍ以下の微細な銅粒を有するコンタクト構造（例えば、銅コンタクトパッド）を作製することができる。導電性構造に細粒金属（例えば、細粒銅又はナノ銅）を使用すると、高いポテンシャルエネルギと高いクリープ速度を有利に提供することができるので、導体－導体間（例えば、銅－銅間）の直接接合接続部を作り出すアニールプロセスに使用可能なサーマルバジェットを低く抑えることができる。更に、ポテンシャルエネルギの増加により、銅－銅間の界面での相互拡散と強力な冶金的結合とを向上させることができる。細粒銅はまた、粗粒銅よりも粒径が小さいため、ウェハ全体にわたってより均一な接合前凹部を有することができる。パッドが粗粒銅で形成される場合、パッド内で異なる挙動を示し、研磨速度に影響を与える可能性があるので、細粒銅は、粗粒銅よりも凹部を均一に制御するのが容易とすることができる。その後のウェット及び／又はドライエッチング化学反応によって、ウェハ全体にわたる凹部サイズの均一性が実質的に損なわれることはなく、接合後の電気的歩留を向上させることができる。

【００２１】

図１Ａは、素子（第１の素子１）を形成する中間段階における構造の概略側断面図である。図１Ｂは、素子１の概略断面側面図である。図２は、第１の素子１及び第２の素子３を備えた接合構造２の概略側断面図である。一部の実施形態では、第１及び第２の素子１、３は、同じ又はほぼ同様の構造を有することができる。一部の実施形態では、第１及び第２の素子１、３は半導体素子を含むことができる。

【００２２】

第１の素子１は、キャリア１０と、キャリア１０上の絶縁層１２と、絶縁層１２上のメタライゼーション層１４と、メタライゼーション層１４上の接合層１６とを含むことがで

きる。一部の実施形態では、キャリア１０は、デバイス領域を含む基板（例えば、ウェハ）を含むことができる。一部の実施形態では、キャリア１０はデバイス層又はデバイス構造を含むことができる。一部の実施形態では、絶縁層１２は、キャリア１０上に堆積された酸化物層を含むことができる。酸化物層は、約０．３μｍの厚さを有することができる。例えば、酸化物層の厚さは、０．１μｍ～２０μｍ、又は０．１μｍ～１０μｍの範囲とすることができる。一部の実施形態では、絶縁層１２は、埋め込まれた相互接続済みの導電性特徴（図示せず）を含む複数の誘電体層を含むことができる。絶縁層１２の埋め込まれた導電性特徴は、メタライゼーション層１４の導電性部分に接続させることができる。一部の実施形態では、絶縁層１２は、メタライゼーション層１４及び／又は接合層１６を含む。一部の適用例では、絶縁層１２の平らな上面が接合面を含むことができる。

【００２３】

メタライゼーション層１４は、導電性部分１８と非導電性部分２０とを含むことができる。一部の実施形態では、メタライゼーション層１４は、配線工程（ＢＥＯＬ）メタライゼーション層を含むことができる。一部の実施形態では、導電性部分１８は、再配線層（ＲＤＬ）として機能するために、メタライゼーション層１４内で横方向に延びる導電性トレース及び／又は鉛直方向に延びる導電性ビアを含むことができる。導電性部分１８は、銅（Ｃｕ）などの何れか適切な導電性材料を含むことができる。銅は、従来の銅めっきプロセスで形成することができる。一部の実施形態では、メタライゼーション層１４は、接合層１６内に形成されたキャビティ２２の底面を画定することができる。

【００２４】

一部の実施形態では、接合層１６は、非導電性領域２４を画定することができる非導電性層と、キャビティ２２内に配置されたバリア層２６と、バリア層２６を覆ってキャビティ２２内に配置された導電性特徴２８とを含むことができる。導電性特徴２８は、もう１つの素子上にある対向するコンタクト構造に接触して電気接続するように構成されたコンタクト構造を含むことができる。導電性特徴２８の厚さは、例えば０．３μｍ～６μｍの範囲で、典型的には０．５μｍ～４μｍの範囲で変わる可能性がある。同様に、導電性特徴２８の幅は、例えば、０．３μｍ～６０μｍ、０．５μｍ～４０μｍ、又は０．５μｍ～２０μｍの範囲とすることができる。本明細書に記載するように、導電性特徴２８は、コンタクトパッド、トレース、ビア、又はこれらの何れか適切な組み合わせを含むことができる。一部の実施形態では、ビアは基板貫通電極を含むことができる。接合面における基板貫通導電性特徴の幅は、例えば、１μｍ～５０μｍ、２μｍ～３０μｍ、又は２．５μｍ～１５μｍの範囲で変わる可能性がある。導電性特徴２８とメタライゼーション層１４を互いに電気接続することができる。一部の実施形態では、バリア層２６を導電性特徴２８とメタライゼーション層１４との間に配置することができる。こうして、図示の実施形態では、導電性特徴２８は、メタライゼーション層（ＢＥＯＬ層など）の上に配置されたコンタクトパッドを含む。他の構成では、導電性特徴２８は、基板貫通電極又は素子貫通電極又はシリコン基板の場合のシリコン貫通ビアＴＳＶにおけるように、素子を貫いて（又は大部分を貫いて）延びる導電性ビアを含むことができる。

【００２５】

非導電性領域２４は誘電体層を含むことができる。一部の実施形態では、非導電性領域２４は、異なる誘電体材料の複数の層を含むことができる。例えば、非導電性領域２４は酸化シリコンを含むことができる。図１Ａに示すように、非導電性領域２４内にキャビティ２２を形成することができる。キャビティ２２は、非導電性領域２４の厚さを少なくとも部分的に貫いて延びることができる。例えば、キャビティ２２は、非導電性領域２４の厚さを完全に貫いて延びることができる。

【００２６】

一部の実施形態では、バリア層２６は、導電性特徴２８の材料が非導電性領域２４内へ拡散するのを防止又は低減する拡散バリア層を含むことができる。一部の実施形態では、バリア層２６は、タンタル、チタン、コバルト、ニッケル又はタングステン、又は何れかの適切な化合物、或いはこれらの組み合わせを含むことができる。一部の実施形態では、

バリア層２６は多層構造を含むことができる。

【００２７】

一部の実施形態では、導電性特徴２８は銅（Ｃｕ）を含むことができる。例えば、導電性特徴２８は、細粒金属（例えば、細粒銅）を含むことができる。細粒金属又は接合パッドは、２０ｎｍ未満、５０ｎｍ未満、１００ｎｍ未満、３００ｎｍ未満、又は５００ｎｍ未満の平均粒幅を有する微細構造を備えた金属特徴として定めることができる。例えば、細粒金属の最大幅は、微細構造内で１０ｎｍ～５００ｎｍの範囲、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲、２０ｎｍ～５００ｎｍの範囲、２０ｎｍ～３００ｎｍの範囲、２０ｎｍ～１００ｎｍ、２０ｎｍ～５０ｎｍ、５０ｎｍ～５００ｎｍ、５０ｎｍ～３００ｎｍ、又は１００ｎｍ～３００ｎｍの範囲とすることができる。導電性特徴２８内の粒径ばらつきは、導電性特徴２８内の粒子の９５％以上の中で約１０％以内とすることができる。一部の実施形態では、導電性特徴２８内の粒子の平均粒径は、１００ｎｍ未満、３００ｎｍ未満、又は５００ｎｍ未満とすることができる。細粒金属の粒子は、最大幅が１μｍ～２μｍ又はこれを超える粒などの粗粒を含む粗粒金属よりも、著しく小さい場合がある。一部の実施形態では、細粒金属は、その堆積方法に起因して、粗粒金属よりも高い応力を有する可能性がある。細粒金属は、粗粒金属よりも高いポテンシャルエネルギを有することができる。

【００２８】

一部の実施形態では、導電性特徴２８は、めっきによってキャビティ２２内に設けることができる。導電性特徴２８は、適切なめっき浴中で様々な高いめっき電流密度の下で堆積させることができる。例えば、めっき電流密度は、直流（ＤＣ）又はパルスめっき、或いはこれら２つの組み合わせにより、１ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^2、又は４０ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲とすることができる。例えば、１ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲にある電流密度において、より低い電流密度では０．５秒～５秒の範囲にある時間、より高い電流密度では０．３秒～２秒の範囲にある時間、導電性特徴２８を電気めっきすることができる。一部の実施形態では、導電性特徴２８は、酸性銅浴又はホウフッ化銅浴、スルホン酸銅浴、又はピロリン酸銅めっき浴からの銅を被覆することによって形成できる金属皮膜を含むことができる。一部の実施形態では、酸性めっき浴は、０．１Ｍ～０．４Ｍの銅イオン、０．１Ｍ～１Ｍの酸（例えば、０．３Ｍ～０．６Ｍの有機酸又は無機酸）、及び３０ｐｐｍ～７０ｐｐｍのハロゲン化物イオンを含むことができる。一部の実施形態では、導電性特徴２８の粒径を小さくするために、めっきプロセスで微粒化剤を使用することができる。微粒化剤は、チオ尿素、チアジン（硫黄含有基）、オキサジン、又はオキサジン染料を含むことができる。めっきプロセスで使用される微粒化剤の濃度は、例えば、２ｍｇ／Ｌ～７０ｍｇ／Ｌ、２ｍｇ／Ｌ～５０ｍｇ／Ｌ、２ｍｇ／Ｌ～２０ｍｇ／Ｌ、１０ｍｇ／Ｌ～７０ｍｇ／Ｌ、又は２０ｍｇ／Ｌ～５０ｍｇ／Ｌの範囲とすることができる。導電性特徴２８のより小さい粒径には、より高濃度の微粒化剤を用意することができる。

【００２９】

細粒金属は、比較的高濃度の不純物（例えば、格子間不純物又は非格子間不純物）を含むことができる。不純物としては、例えば、硫黄、炭素、窒素、リンなどが挙げられる。典型的には、不純物の濃度は３０ｐｐｍを超える、又は５０ｐｐｍを超え、好ましくは５０００ｐｐｍ未満とすることができる。一部の実施形態では、比較的低濃度の不純物が望ましい場合がある。

【００３０】

一部の実施形態では、導電性特徴２８は構成成分を含むことができる。構成成分は、導電性特徴２８における細粒の形成を促進するために、めっきプロセス中又はシード層の形成中に添加することができる添加剤である。一部の実施形態では、導電性特徴２８内の細粒の平均粒径は、１００ｎｍ未満、３００ｎｍ未満、又は５００ｎｍ未満とすることができる。構成成分は、ホウ素、インジウム、リン、ガリウム、ニッケル、コバルト、スズ、マンガン、チタン、バナジウム又はセレンを含むことができる。一部の実施形態では、導電性特徴２８内の粒界における構成成分の量は、導電性特徴２８の０．５％未満又は０．

１％未満とすることができる。
【００３１】
一部の実施形態では、導電性特徴２８は、例えば酸化シリコン、アルミニウム、又は酸化チタンなどの不活性材料のナノ粒子を含むことができ、これらを導電性特徴２８の細粒金属内に一緒にめっきすることができる。不活性材料とは、４００℃以下のアニール温度では導電性特徴２８の細粒金属と主に合金を形成しない物質である。一部の実施形態では、不活性材料のナノ粒子の９０％超、９５％超、又は９９％超は、導電性特徴２８の細粒金属と合金を形成しない。ナノ粒子は、導電性特徴２８の粒界に、並びに導電性特徴２８の被覆金属の亜粒界に存在することができる。ナノ粒子は、約１２０℃未満の温度で導電性特徴２８内の粒子の粒成長を抑制することができる。導電性特徴２８内のナノ粒子の濃度を制御して、ナノ粒子が導電性特徴２８の導電性を大きく変えないようにすることができる。例えば、ナノ粒子の濃度は、導電性特徴２８の１％未満又は０．１％未満とすることができる。
【００３２】
一部の実施形態では、めっきは、例えば５℃～１５℃、又は２０℃未満などの低温で行うことができる。低温で形成される導電性特徴２８は、室温で形成されるものよりも急速に成長する傾向があり得る。一部の実施形態では、低濃度不純物、例えば３０ｐｐｍ未満の不純物を含む、低温で形成された導電性特徴２８を好ましくは１０℃未満の低温で保管して粒成長を抑制することができ、低温で更に処理する（例えば、化学機械的研磨（ＣＭＰ））ことができる。低温で形成された導電性特徴２８は、例えばＣＭＰプロセス後８時間以内又は４時間以内に、洗浄して接合することができる。
【００３３】
一部の実施形態では、本明細書に開示する何れかの適切なプロセスで金属をめっきした後、金属をアニールして、金属の微細構造を少なくとも部分的に安定化させることができ、これを粒回復プロセスと呼ぶことができる。アニールは、ＣＭＰプロセスの前に行うことができる。一部の実施形態では、８０℃～１５０℃の範囲にある温度で金属をアニールすることができる。例えば、６０～１２０分間、金属をアニールすることができる。 粒回復プロセスを引き起こすためのアニールプロセスの前後で、金属中の粒子の粒径は、一般に、安定化された金属の微細構造よりも小さい。粒径の予想される変化は、めっきしたままの粒径とアニールしたままの粒径との差が通常は５０％を超え、更には１００％を超えるような従来のＢＥＯＬ又は実装用の銅と比べ、一般的に１０％未満である。
【００３４】
図２に示すように、第１の素子１を第２の素子３に接合することができる。第２の素子３は、キャリア３０と、キャリア３０上の絶縁層３２と、絶縁層３２上のメタライゼーション層３４と、メタライゼーション層３４上の接合層３６とを含むことができる。メタライゼーション層３４は、導電性部分３８と非導電性部分４０とを含むことができる。接合層３６は、非導電性領域４４と、キャビティ４２内に配置されたバリア層４６と、バリア層４６を覆ってキャビティ４２内に配置された導電性特徴４８とを含むことができる。
【００３５】
一部の実施形態では、第１の素子１と第２の素子３は、接合界面４９に沿って接着剤を介在させることなく、互いに直接接合させることができる。例えば、第１の素子１の導電性特徴（例えば、導電性特徴２８）は、接着剤を介在させることなく、第２の素子３の対応する導電性特徴（例えば、導電性特徴４８）に直接接合させることができ、第１の素子１の非導電性領域２４は、接着剤を介在させることなく、第２の素子３の非導電性領域４４に直接接合させることができる。例えば、一実施形態による接合プロセスは、室温で第１の素子１の非導電性領域２４を第２の素子３の非導電性領域４４に直接接合するステップと、例えば３００℃以下、２５０℃以下、２００℃以下、又は１８０℃以下の温度でアニールすることで導電性特徴２８を導電性特徴４８の方へ膨張させることによって導電性特徴２８を導電性特徴４８に直接接合するステップとを含むことができる。第１の素子１と第２の素子３は、室温、通常は１８～４０℃で互いに直接接合させることができる。例

えば、導電性特徴２８と導電性特徴４８を接合するためのアニール温度は、１２０℃～２５０℃、１２０℃～２００℃、又は１２０℃～１８０℃の範囲とすることができる。一部の実施形態では、第１の素子１の導電性特徴２８及び／又は第２の素子３の導電性特徴４８は凹部を含むことができ、非導電性領域２４と非導電性領域４４を接合する時に、これらの間にギャップが存在することができる。素子１、３を高温でアニールして、２つの対向する導電性特徴２８と４８の間に冶金的結合が形成された場合に、そのギャップ又は凹部を埋めることができる。

【００３６】

図３は、粗粒銅の粒５０を示す、粗粒銅の概略上面図である。図４は、一実施形態による細粒銅の粒５２を示す、細粒銅の概略上面図である。図３及び４の粗粒銅と細粒銅は両方とも、８０℃～１５０℃の温度で１２０分間アニールされている。粗粒銅の平均粒径は０．５μｍ～３μｍの範囲にあり、細粒銅の平均粒径は１０ｎｍ～５００ｎｍの範囲とすることができる。図３に示すように、銅の粒内に双晶５４が形成される場合がある。一部の実施形態では、細粒銅の粒５２は、粒構造内（例えば、粒５２の１又は２以上の粒内）にナノ双晶（図示せず）を含むことができる。一部の実施形態では、図１Ｂの導電性特徴２８は、２つ以上の種類の微細構造を含むことができる。例えば、導電性特徴２８の部分は、上部と、上部よりもメタライゼーション層１８の近くに位置決めされた底部とを含むことができる（図６Ｄを参照）。一部の実施形態では、導電性特徴２８の上部は、導電性特徴２８の厚さの５％～７０％の範囲の厚さを有する。一部の実施形態では、導電性特徴２８の上部は、例えば５０ｎｍ～５００ｎｍの範囲の厚さを有する。底部は、高度に配向した微細構造、例えばナノ双晶銅の微細構造を有する導電性特徴を含むことができる。上部は、導電性特徴２８の接合面と、接合面と底部の間の導電性領域とを含むことができる。上部は、例えば細粒銅などの細粒金属を含むことができる。一部の実施形態では、導電性特徴２８の底部は、例えば、粗粒を備えた従来のＢＥＯＬ又は実装用の銅など、粗粒構造を有する材料を含むことができる。一部の実施形態では、底部は、純銅以外の別の材料、例えば、銅合金、ニッケル、コバルト、タングステン、アルミニウム、及びそれら各々の様々な合金を含むことができる。一部の適用例では、導電性特徴２８の上部と底部の間にバリア層（図示せず）を配置することができる。バリア層は、上部と底部の微細構造の混合を防止する又は軽減することができる。

【００３７】

粒界及び界面に沿う拡散の活性化エネルギは、格子拡散の活性化エネルギよりも大幅に低い。大きな粒界表面積を備えた細粒微細構造の場合、金属－金属間接合において、粒界拡散経路が支配的である。また、細粒微細構造は一般的に、ナノ双晶銅、並びに粒径が著しく大きい従来の粗粒銅と比較して、高いクリープ速度を呈することができる。細粒銅における極めて速い拡散経路の著しく高い密度とより高いクリープ速度が、その低温接合傾向を説明する。直接接合される相互接続の接合面に細粒金属の微細構造が望ましいのは、この微細構造が低温接合傾向にあるからである。

【００３８】

図５は、細粒銅パッド（ＦＧ）及び従来の銅パッド（ＳＴＤ）に関する、温度と平均抵抗の関係を示すグラフである。平均抵抗は、対向する導電性特徴間の接触程度に関する指標を与えることができる；平均抵抗が低いほど、平均抵抗が高い場合と比較して接続が良好であることを意味し得る。このグラフは、細粒パッドが従来の銅パッドよりも低い温度で、抵抗に関する所望の値又は公称値に達することを示している。この結果は、細粒パッドが従来の銅パッドよりも低いアニール（接合）温度で別のパッドに接合可能であることを示している。

【００３９】

図６Ａは、導電性特徴７０、８０（例えば、従来の銅パッド）を備えた接合構造４の概略側断面図である。接合構造は、第１の素子５と、接合界面８６に沿って第１の素子５に接合される第２の素子６とを含む。第１の素子５は、導電性特徴７０、非導電性領域７２、及びメタライゼーション層７４を含む。第２の素子６は、導電性特徴８０、非導電性領

域８２、及びメタライゼーション層８４を含む。導電性特徴７０、８０は、例えば１μｍ超の平均粒径を有する銅粒など、粗粒を含む。導電性特徴７４、８４は、従来の粗粒金属（例えば、粗粒銅）を含む。

【００４０】

接合構造４は、接合のために１８０℃を超える温度でアニールされている。アニール時間又は温度が増加するにつれて、接合界面８６における金属－金属間（例えば、銅－銅間）の接合界面は、発達することができる。長時間アニールするほど、接合界面により多くの金属拡散（例えば、銅の拡散）が生じる。接合界面８６はｘ方向に沿って延びることができ、ｘ方向にほぼ垂直なｚ方向が、膜成長方向とすることができる。接合素子４の一部の実施形態では、接合界面８６を遮る導電性特徴７０、８０の粒数は、その最大幅又は直径において１１粒以下とすることができる。導電性特徴７０、８０の直径又は幅に応じて、接合界面で遮る粒の数は、８粒より少ない、又は更には５粒より少なくし得る。

【００４１】

図６Ｂは、一実施形態による接合構造７の概略側断面図である。特に断りのない限り、図６Ｂの構成要素は、図１Ａ～２の同様の構成要素と同じ又はほぼ類似とすることができる。接合構造７は、第１の素子１’と、接合界面８６’に沿って第１の素子１’に接合される第２の素子３’とを含むことができる。第１の素子１’は、導電性特徴２８’、非導電性領域２４’、メタライゼーション層１４’、及びキャリア１０’を含む。第２の素子３’は、導電性特徴４８’、非導電性領域４４’、メタライゼーション層３４’、及びキャリア３０’を含む。導電性特徴２８’、４８’は、細粒金属（例えば、細粒銅）を含むことができる。メタライゼーション層２４’、３４’は、従来の粗粒金属（例えば、粗粒銅）を含むことができる。接合構造７の一部の実施形態では、メタライゼーション層１４’又は３４’のうちの一方は、例えば細粒銅などの細粒金属を有する層を含むことができる。

【００４２】

接合構造７は、接合のために１８０℃を超える温度でアニールされている。導電性特徴２８’、４８’を接合するためのアニールプロセスの前後で、導電性特徴２８’、４８’内の粒子の粒径は、ほぼ同様とすることができる。例えば、アニールプロセス後の導電性特徴２８’、４８’の平均粒径は、アニールされていない導電性特徴２８’、４８’の平均粒径の２倍を超えないものとすることができる。アニール時間及び／又は温度が増加するにつれて、接合界面８６’における金属－金属間（例えば、銅－銅間）の接合界面は、発達することができる。十分な時間のアニールの後には、金属－金属間の接合界面により多くの金属拡散（例えば、銅の拡散）が生じる可能性がある。一部の実施形態では、接合界面８６’はｘ方向に沿って延びるようにすることができ、ｘ方向にほぼ垂直なｚ方向が、膜成長方向とすることができる。一部の実施形態では、接合構造７の細粒構造の結果として、直線横方向寸法において界面８６’を遮る、接合された導電性特徴２８’又は４８’の粒数は、その最大幅又は直径において１２粒より多くし得る。一部の実施形態では、界面８６’を遮る粒数は、１６粒より多く、又は２０粒より多くし得る。

【００４３】

図６Ｃは、一実施形態による接合構造７’の概略側断面図である。特に断りのない限り、図６Ｃの構成要素は、図１Ａ～２、６Ａ及び６Ｂの同様の構成要素と同じ又はほぼ類似とすることができる。接合構造７’は、接合界面８６’に沿って粗粒の導電性金属を含む従来の銅パッドなどの、従来型導電性特徴７０に直接接合された導電性特徴２８’を含む第１の素子１’を含むことができる。第１の素子１’は、導電性特徴２８’、非導電性領域２４’、メタライゼーション層１４’、及びキャリア１０’を含むことができる。素子５は、導電性特徴７０、非導電性領域７２、メタライゼーション層８４、及びキャリア７４を含むことができる。導電性特徴７０は導電性特徴の一例であり、素子５は、何れかの適切な導電性特徴を含むことができる。導電性特徴２８’は、細粒金属（例えば、細粒銅）を含むことができ、導電性特徴７０は、粗粒金属（例えば、粗粒銅）を含むことができる。一部の実施形態では、従来型導電性特徴７０の材料は、導電性特徴２８’の材料に少なくとも部分的に基づいて選択することができる。例えば、従来型導電性特徴７０の材料は、導

電性特徴２８’の材料と同じ又は類似した種類の金属を有するように選択することができる。メタライゼーション層１４’、７４は、従来の粗粒銅を含むことができる。他の種類の金属及び金属微細構造をメタライゼーション層１４’、７４に使用してもよい。接合構造７’の一部の実施形態では、メタライゼーション層１４’又は７４のうちの一方は、例えば細粒銅などの細粒導電性金属を有する層を含むことができる。

【００４４】

接合構造７’は、接合のために（例えば、１８０℃の温度で）アニールされている。導電性特徴２８’及び導電性パッド７０における粒の粒径は、導電性特徴７０’、８０を接合するためのアニールプロセスの前後で異なる。アニール時間及び／又は温度が増加するにつれて、接合界面８６''における金属－金属間（例えば、銅－銅間）の接合界面は、発達することができる。十分な時間のアニールの後には、噛み合う導電性特徴２８’と導電性特徴７０の接合界面により多くの金属拡散（例えば、銅の拡散）が生じる可能性がある。一部の実施形態では、接合界面８６''はｘ方向に沿って延びることができ、ｘ方向にほぼ垂直なｚ方向が、膜成長方向とすることができる。一部の実施形態では、接合界面８６''の直径において接合界面８６''の直線横方向寸法に測定される、第１の素子１’の第１の導電性特徴２８’で遮る粒数は、接合界面８６''で素子５の導電性特徴７０で遮る粒数よりも１０％以上多い。例えば、接合構造７’は、導電性特徴２８’で界面８６''を遮る２１粒以上と、導電性特徴８０で界面８６''を遮る１２粒以下とを含むことができる。一部の実施形態では、第１の素子１’の導電性特徴２８で界面８６''を遮る粒数は、素子５の導電性特徴８０で接合界面８６''を遮る粒数とは異なる。

【００４５】

図６Ｃは、一実施形態による接合構造７''の概略側断面図である。特に断りのない限り、図６Ｄの構成要素は、図１Ａ～２、６Ａ～６Ｃの同様の構成要素と同じか、又はほぼ類似とすることができる。接合構造７''は、接合構造７''の素子３''が導電性特徴４８''内に細粒部分８８と粗粒部分８９を含むことを除いて、図６Ａの接合構造７とほぼ同様とすることができる。図６Ｃは１つの細粒部分と１つの粗粒部分を示しているが、一部の実施形態では、複数の細粒部分及び／又は複数の粗粒部分が存在することができる。接合界面８６'''のより近くに位置決めされた細粒部分８８を上部と呼ぶことができ、メタライゼーション層３４’に近い粗粒部分８９を底部と呼ぶことができる。一部の実施形態では、導電性特徴４８''の細粒部分８８は、導電性特徴２８の厚さT_{cf}の５％～７０％の範囲にある厚さT_{fg}を有する。例えば、厚さT_{fg}は、導電性特徴２８の厚さT_{cf}の５％～５０％、５％～２０％、１０％～５０％、又は１０％～２０％の範囲とすることができる。一部の実施形態では、細粒部分８８の厚さT_{fg}は、例えば５０ｎｍ～５００ｎｍの範囲とすることができる。例えば、厚さT_{fg}は、５０ｎｍ～４００ｎｍ、５０ｎｍ～３００ｎｍ、１００ｎｍ～５００ｎｍ、又は１００～３００ｎｍの範囲とすることができる。

【００４６】

図７Ａ～７Ｃは、異なる種類の銅特徴に関するトップダウン電子後方散乱回折（ＥＢＳＤ）画像を示している。図７Ａは、従来の又は粗粒の銅特徴に関するトップダウンＥＢＳＤ画像である。図７Ｂは、ナノ双晶銅特徴のトップダウンＥＢＳＤ画像である。図７Ｃは、一実施形態による細粒銅特徴のトップダウンＥＢＳＤ画像である。図７Ａ～７Ｃは、膜成長方向と同じ方向（例えば、図７Ａ～７Ｃの画像で画像面に垂直）であるｚ方向（図６Ａ～６Ｄを参照）に平行な粒配向を示す。例えば、粒子９０は、ｚ方向が粒子の＜１１１＞方位にほぼ平行であるような結晶方位を有し、粒子９２は、ｚ方向が粒子の＜００１＞方位にほぼ平行であるような結晶方位を有し、そして粒子９４は、ｚ方向が粒子の＜１０１＞方位とほぼ平行となるような結晶方位を有する。図７Ａは、異なる粒方位（例えば、＜１１１＞、＜００１＞、及び＜１０１＞方位）を有する粗粒を備えた粗粒銅特徴の例示的な微細構造を示す。対照的に、図７Ｂは、ほとんど又は本質的に単一の金属粒方位(例えば、＜１１１＞方位）を含む、高度に配向した粒子を有するナノ双晶銅特徴の例示的な微細構造を示している。別の実施形態では、高度に配向した粒子は、＜１１１＞方位、＜１００＞方位、＜１１０＞方位、或いは双晶微細構造及び／又は正方晶構造又は六方晶構

造などの高配向性非立方晶構造のように、これらの組み合わせを有することができる。図７Ｃは、細粒銅特徴の例示的な微細構造を示す。微細構造は、典型的には１００ｎｍ未満の粒径を備えた細粒を備え、細粒の様々な粒子は、＜１１１＞、＜１１０＞、＜１００＞方位などの異なる粒方位を有することができる。図７Ｃの暗い領域は、電子後方散乱回折では検出されなかった方位を備えた粒子９６である。

【００４７】

一態様では、接合構造が開示される。この接合構造は、第１の導電性特徴と第１の非導電性領域とを有する第１の素子を含むことができる。第１の導電性特徴は、５００ｎｍ以下の平均粒径を有する細粒金属を備えた接合構造は、第２の導電性特徴と第２の非導電性領域とを含む第２の素子を含むことができる。第１の導電性特徴は、接着剤を介在させることなく第２の導電性特徴に直接接合され、第２の非導電性領域は、接着剤を介在させることなく第２の非導電性領域に直接接合される。

【００４８】

一実施形態では、第１の導電性特徴は銅を含む。

【００４９】

一実施形態では、第１の導電性特徴の粒子は、５００ｎｍ未満の最大粒径を有する。第１の導電性特徴の粒子は、３５０ｎｍ未満の最大粒径を有することができる。第１の導電性特徴の粒子は、５０ｎｍ未満の最大粒径を有することができる。

【００５０】

一実施形態では、第２の導電性特徴の粒子の平均粒径は５００ｎｍ以下である。

【００５１】

一実施形態では、第２の導電性特徴の粒子の平均粒径は１μｍを超える。

【００５２】

一実施形態では、第１の導電性特徴の細粒金属の平均粒径は３５０ｎｍ以下である。第１の導電性特徴の細粒金属の平均粒径は、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲とすることができる。

【００５３】

一実施形態では、第１の導電性特徴の粒子の９５％超が、粒径ばらつきが１０％未満である。

【００５４】

一実施形態では、第１の素子は、導電性部分を有するメタライゼーション層を更に備える。メタライゼーション層の導電性部分は、１μｍ～２μｍの範囲の平均粒径を有する金属を含むことができる。

【００５５】

一実施形態では、第１の導電性特徴の細粒金属は、不活性材料のナノ粒子を含む。ナノ粒子の濃度は、第１の導電性特徴の１％未満とすることができる。ナノ粒子の濃度は、第１の導電性特徴の０．１％未満とすることができる。ナノ粒子は、酸化シリコン、アルミナ、及び酸化チタンのうちの１又は２以上を含むことができる。

【００５６】

一実施形態では、細粒金属は構成成分を含む。

【００５７】

一態様では、接合構造が開示される。この接合構造は、第１の導電性特徴と第１の非導電性領域とを有する第１の素子を含むことができる。第１の導電性特徴は、構成成分を有する細粒金属を備えた接合構造は、第２の導電性特徴と第２の非導電性領域とを含む第２の素子を含むことができる。第１の導電性特徴は、接着剤を介在させることなく第２の導電性特徴に直接接合され、第２の非導電性領域は、接着剤を介在させることなく第２の非導電性領域に直接接合される。

【００５８】

一実施形態では、構成成分は、ホウ素、インジウム、リン、ガリウム、ニッケル、コバルト、スズ、マンガン、チタン、バナジウム及びセレンのうちの少なくとも１つを含む。

第１の導電性特徴は、５００ｎｍ以下の平均粒径を有する細粒金属を含むことができる。第１の導電性特徴の細粒金属の平均粒径は、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲とすることができる。

【００５９】

一態様では、相互接続構造が開示される。この相互接続構造は、接合面を含む素子を含むことができる。この素子は、導電性特徴と非導電性領域とを有する。導電性特徴は、非導電性領域に少なくとも部分的に埋め込まれる。導電性特徴は、底部と、底部の上に配置された上部とを含む。上部は、底部よりも素子の接合面の近くに位置決めされる。上部は、底部の平均粒径よりも小さい平均粒径を有する。上部の平均粒径は５００ｎｍ以下である。

【００６０】

一実施形態では、接合構造は、相互接続構造と第２の素子とを含む。

【００６１】

一態様では、基板を形成する方法が開示される。この方法は、半導体素子の非導電性層にキャビティを設けるステップと、キャビティ内に導電性コンタクト構造を設けるステップと、非導電性層と導電性コンタクト構造を直接接合のために準備するステップとを含むことができる。導電性コンタクト構造は、５００ｎｍ未満の平均粒径を含む細粒構造を有する。

【００６２】

一実施形態では、導電性コンタクト構造は銅を含む。

【００６３】

一実施形態では、平均粒径は３５０ｎｍ未満である。平均粒径は１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲とすることができる。

【００６４】

一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．５％未満の添加剤を有する銅電気めっき浴を設けるステップと、導電性コンタクト構造をキャビティ内に電気めっきするステップとを含む。添加剤は、ホウ素、インジウム、リン、ガリウム、ニッケル、コバルト、スズ、マンガン、チタン、バナジウム及びセレンのうちの１又は２以上を含む。

【００６５】

一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、電気的に不活性なナノ粒子を内部に有する銅電気めっき浴を設けるステップを含む。電気的に不活性なナノ粒子は、酸化シリコン、アルミナ、及び酸化チタンのうちの１又は２以上を含むことができる。ナノ粒子の濃度は、１体積％未満とすることができる。ナノ粒子の濃度は、０．１体積％未満とすることができる。

【００６６】

一実施形態では、導電性コンタクト構造の金属粒回復は、室温で及び１２０℃未満の温度で抑制される。

【００６７】

一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、３０℃未満の温度でキャビティを電気めっきするステップを含む。本方法は、５℃～１５℃の範囲の温度でキャビティを電気めっきするステップを更に含むことができる。本方法は更に、５℃～１５℃の範囲の温度で非導電性層及び導電性コンタクト構造を化学機械的に研磨するステップを含むことができる。

【００６８】

一実施形態では、本方法は、接着剤を介在させることなく、半導体素子の非導電性層を第２の半導体素子の第２の非導電性層に直接接合するステップを更に含む。本方法は、半導体素子及び第２の半導体素子をアニールして、導電性コンタクト構造を第２の半導体素子の第２の導電性コンタクト構造に接触させるステップを更に含むことができる。アニールは、３００℃未満の温度で行うことができる。アニールは、２５０℃未満の温度で行う

ことができる。
【００６９】
一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲の電流密度を使用してキャビティを電気めっきするステップを含む。
【００７０】
一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１Ｍ～０．４Ｍの銅イオンと０．１Ｍ～１Ｍの酸とを有する電気めっき浴を設けるステップを含む。
【００７１】
一実施形態では、非導電性層を設けるステップは、集積回路デバイス上への堆積を含む。本方法は、細粒構造を有する導電性コンタクト構造でキャビティを埋める前に、キャビティの少なくとも側壁をバリア層で裏打ちするステップを更に含むことができる。
【００７２】
一態様では、基板を形成する方法が開示される。この方法は、半導体素子の非導電性層にキャビティを設けるステップと、キャビティ内に導電性コンタクト構造を設けるステップと、非導電性層と導電性コンタクト構造を直接接合のために準備するステップとを含むことができる。導電性コンタクト構造は、細粒構造を有する。
【００７３】
一実施形態では、導電性コンタクト構造は銅を含む。
【００７４】
一実施形態では、導電性コンタクト構造の粒子の大部分は、５００ｎｍ以下の粒径を有する。大部分の粒子は、３５０ｎｍ以下の粒径を有する。粒の大部分は、１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲の粒径を有する。
【００７５】
一実施形態では、導電性コンタクト構造の粒子の平均粒径は、５００ｎｍ以下である。平均粒径は３５０ｎｍ以下とすることができる。平均粒径は１０ｎｍ～３００ｎｍの範囲とすることができる。
【００７６】
一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．５％未満の添加剤を有する銅電気めっき浴を設けるステップと、導電性コンタクト構造をキャビティ内に電気めっきするステップとを含む。銅電気めっき浴は、０．１％未満の添加剤を含むことができる。添加剤は、ホウ素、インジウム、リン、ガリウム、ニッケル、コバルト、スズ、マンガン、チタン、バナジウム及びセレンのうちの１又は２以上を含むことができる。
【００７７】
一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、電気的に不活性なナノ粒子を内部に有する銅電気めっき浴を設けるステップを含む。電気的に不活性なナノ粒子は、酸化シリコン、アルミナ、及び酸化チタンのうちの１又は２以上を含むことができる。ナノ粒子の濃度は、１体積％未満とすることができる。ナノ粒子の濃度は、０．１体積％未満とすることができる。
【００７８】
一実施形態では、導電性コンタクト構造の金属粒回復は、室温で及び１２０℃未満の温度で抑制される。
【００７９】
一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、３０℃未満の温度でキャビティを電気めっきするステップを含む。本方法は、５℃～１５℃の範囲の温度でキャビティを電気めっきするステップを更に含むことができる。本方法は、５℃～１５℃の範囲の温度で非導電性層及び導電性コンタクト構造を化学機械的に研磨するステップを更に含むことができる。
【００８０】
一実施形態では、本方法は、接着剤を介在させることなく、半導体素子の非導電性層を

第２の半導体素子の第２の非導電性層に直接接合するステップを更に含む。本方法は、半導体素子及び第２の半導体素子をアニールして、導電性コンタクト構造を第２の半導体素子の第２の導電性コンタクト構造に接触させるステップを更に含むことができる。アニールは、３００℃未満の温度で行うことができる。アニールは、２５０℃未満の温度で行うことができる。

【００８１】

一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲の電流密度を使用してキャビティを電気めっきするステップを含む。この電流密度は、４０ｍＡ／ｃｍ^2～７０ｍＡ／ｃｍ^{2}の範囲とすることができる。

【００８２】

一実施形態では、導電性コンタクト構造を設けるステップは、０．１Ｍ～０．４Ｍの銅イオンと０．１Ｍ～１Ｍの酸とを有する電気めっき浴を設けるステップを含む。電気めっき浴は、３０ｐｐｍ～７０ｐｐｍの範囲のハロゲン化物イオンを有することができる。

【００８３】

一実施形態では、非導電性層を設けるステップは、集積回路デバイス上への堆積を含む。本方法は、細粒構造を有する導電性コンタクト構造でキャビティを埋める前に、キャビティの少なくとも側壁をバリア層で裏打ちするステップを更に含むことができる。非導電性層を設けるステップは、集積回路デバイス上の再配線層への堆積を含むことができる。

【００８４】

一態様では、接合構造が開示される。この接合構造は、第１の導電性特徴と第１の非導電性領域とを有する第１の素子を含むことができる。本接合構造は、第２の導電性特徴と第２の非導電性領域とを含む第２の素子を含むことができる。第１の導電性特徴は、接着剤を介在させることなく第２の導電性特徴に直接接合され、それによって接合界面が形成される。接合界面の粒数は４０を超える数である。第２の非導電性領域は、接着剤を介在させることなく第２の非導電性領域に直接接合される。

【００８５】

一実施形態では、第１の導電性特徴は、５００ｎｍ以下の平均粒径を有する細粒金属を含む。

【００８６】

一実施形態では、第１の導電性特徴は、約０．０１μｍ～２５μｍの範囲の最大横方向寸法有する。第１の導電性特徴は、１μｍ未満の最大横方向寸法を有することができる。

【００８７】

一実施形態では、接合界面の全面積は約１００μｍ^{2}よりも小さい。接合界面の全面積は、２μｍ^{2}より小さくし得る。

【００８８】

文脈上明らかに他を意味しない限り、本明細書及び特許請求の範囲を通して、単語「備える（ｃｏｍｐｒｉｓｅ）」、「備えている（ｃｏｍｐｒｉｓｉｎｇ）」、「含む（ｉｎｃｌｕｄｅ）」、「含んでいる（ｉｎｃｌｕｄｉｎｇ）」などは、排他的又は網羅的な意味に対立するものとして、包括的な意味で、すなわち、「含むがこれに限定されない」という意味で解釈すべきである。本明細書で一般に使用する単語「繋がれる」とは、直接接続されるか、１又は２以上の中間要素を経由して接続されるかの何れかである２又は３以上の要素を指す。同様に、本明細書で一般に使用する単語「接続される」とは、直接接続されるか、１又は２以上の中間要素を介して接続されるかの何れかである２又は３以上の要素を指す。更に、単語「本明細書で」、「上記に」、「下記に」、並びに同様の取込みに関する単語は、本出願で使用する場合、全体として本出願を指し、本出願の何れか特定の部分には言及しないものとする。更に、本明細書で使用するように、第１の要素が第２の要素の「上に」又は「上方に」あると記述される場合、第１の要素は、第１及び第２の要素が直接接触するように、直接的に第２の要素の上に又は上方にあることができ、或いは第１の要素は、第１の要素と第２の要素の間に１又は２以上の要素が介在するように、間接的に第２の要素の上に又は上方とすることができる。文脈が許す限り、上記の詳細な

説明において単数又は複数を用いる単語は、それぞれ複数又は単数をも包含することができる。２又は３以上の項目のリストに関連する単語「又は」は、その単語について以下の解釈の全てを網羅する：リスト中の項目の何れか、リスト中の項目の全て、並びにリスト中の項目の何れかの組み合わせ。

【００８９】

更に、本明細書で使用する条件付き用語、とりわけ、「できる（ｃａｎ）」、「できるだろう（ｃｏｕｌｄ）」、「かもしれない（ｍｉｇｈｔ）」、「してもよい（ｍａｙ）」、「例えば（ｅ．ｇ．）」、「例えば（ｆｏｒ　ｅｘａｐｌｅ）」「など（ｓｕｃｈ　ａｓ）」及び同様のものなどは、特に別段の記載がない限り、又は使用される文脈内で別様に理解されない限り、特定の実施形態が特定の特徴、要素及び／又は状態を含むのに対して他の実施形態は含まないことを伝達することが一般に意図されている。従って、このような条件付き用語は一般に、特徴、要素及び／又は状態が１又は２以上の実施形態に何らかの形で必要とされると示唆することを意図するものではない。

【００９０】

特定の実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したに過ぎず、開示の範囲を限定することは意図していない。実際、本明細書に記載した新規の装置、方法、及びシステムは、様々な他の形態で具体化することができ、更に、本開示の趣旨から逸脱することなく、本明細書に記載した方法及びシステムの形態において様々な省略、置換及び変更を行うことができる。例えば、ブロックを所与の配置で提示するが、代替実施形態では、異なる構成要素及び／又は回路トポロジを用いて同様の機能を果たすことができ、一部のブロックは、削除、移動、追加、細分化、結合、及び／又は修正が可能である。これらブロックの各々は、様々な異なる方法で実装することができる。上述の様々な実施形態の要素及び動作について、何れかの適切な組み合わせを行って、更なる実施形態を提供することができる。添付の特許請求の範囲及びその等価物は、本開示の範囲及び趣旨に属するような形態又は修正を網羅するように意図される。

【図面】

【図１Ａ】

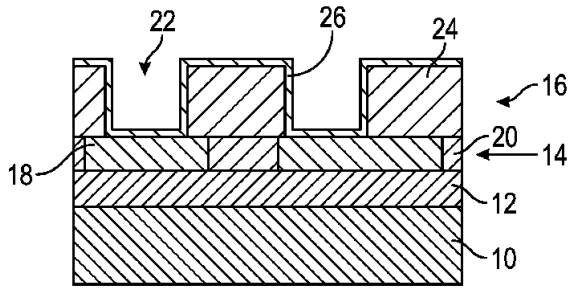


FIG. 1A

【図１Ｂ】

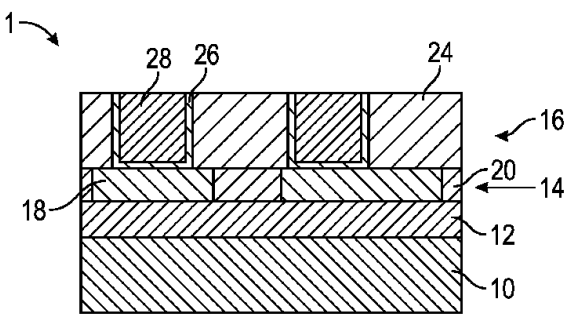


FIG. 1B

【図２】

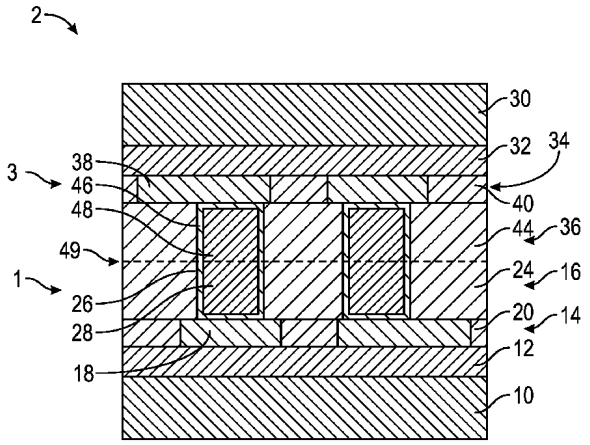


FIG. 2

【図３】

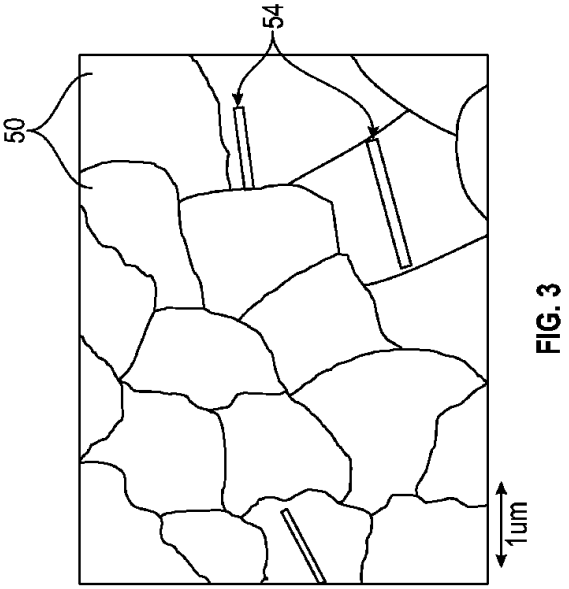


FIG. 3

【図４】

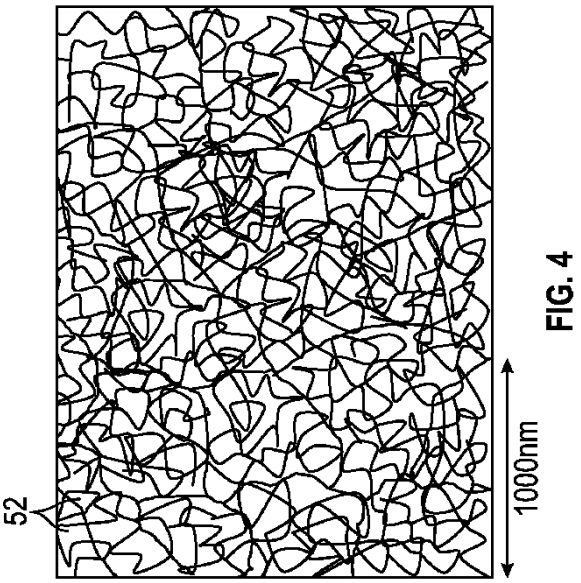


FIG. 4

【図５】

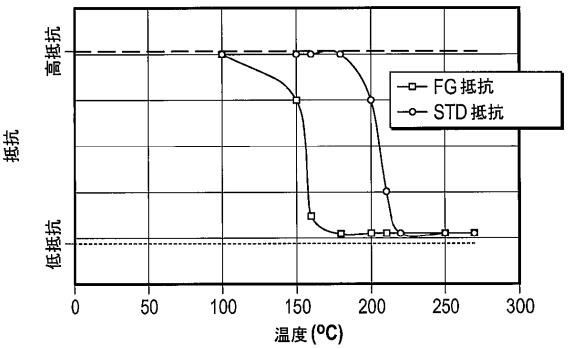


FIG. 5

【図６Ａ】

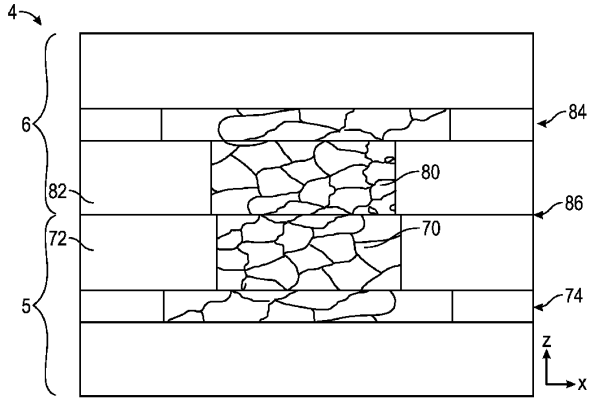


FIG. 6A

【図６Ｂ】

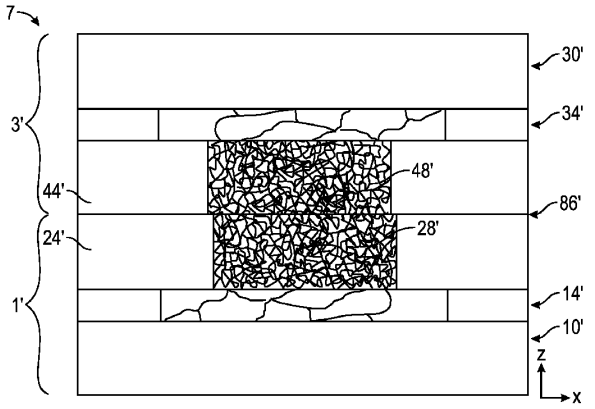


FIG. 6B

【図６Ｃ】

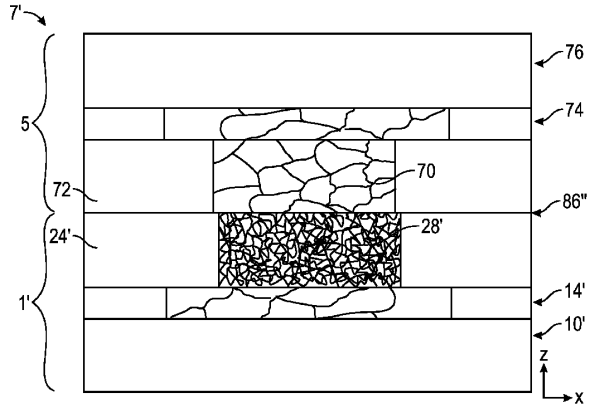


FIG. 6C

【図６Ｄ】

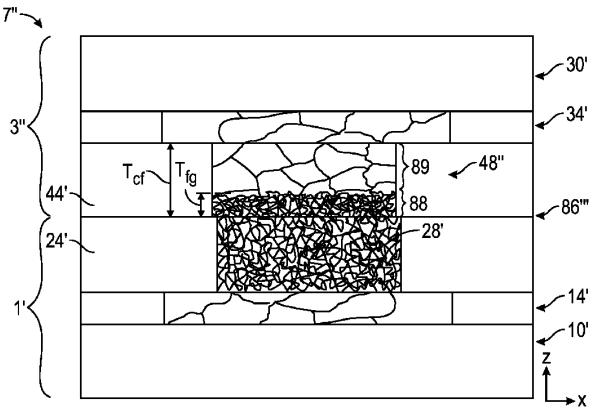


FIG. 6D

【図７Ａ－７Ｃ】

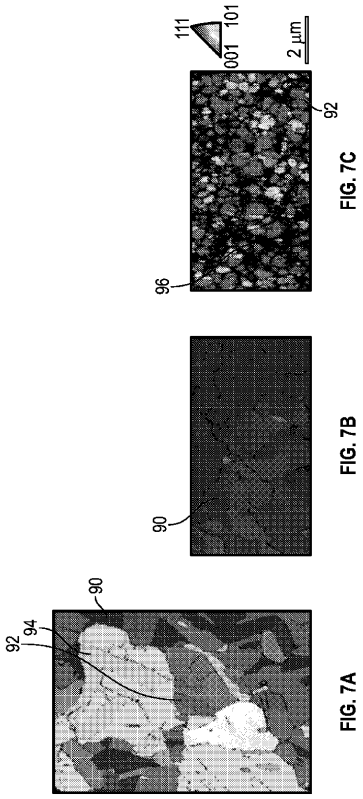


FIG. 7C

FIG. 7B

FIG. 7A

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2022/018574

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 23/00(2006.01)i; **H01L 25/065**(2006.01)i; **H01L 25/00**(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)

H01L 23/00(2006.01); B23K 20/02(2006.01); H01L 21/20(2006.01); H01L 21/768(2006.01); H01L 23/522(2006.01); H01L 25/00(2006.01)

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

Korean utility models and applications for utility models
Japanese utility models and applications for utility models

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: direct bonding, grain size, conductive, dielect, nanoparticle

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2020-0075534 A1 (INVENSAS BONDING TECHNOLOGIES, INC.) 05 March 2020 (2020-03-05) See paragraphs 3-54, claims 1, 14-15 and figures 1, 10-11.	19-20,46,57-61,65-68
Y		1-18,21-45,47-56,62-64,69-80
Y	US 2018-0151523 A1 (TAIWAN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING COMPANY LTD.) 31 May 2018 (2018-05-31) See paragraphs 28-71, claim 8 and figures 3-9B.	1-18,21-45,47-56,62-64,69-72,75-80
Y	US 2019-0393086 A1 (INVENSAS CORPORATION) 26 December 2019 (2019-12-26) See paragraph 39 and figure 3.	45,73-74
A	US 2017-0047307 A1 (INVENSAS CORPORATION) 16 February 2017 (2017-02-16) See the entire document.	1-80

☑ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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
15 June 2022	**17 June 2022**
Name and mailing address of the ISA/KR **Korean Intellectual Property Office** **189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon** **35208, Republic of Korea** Facsimile No. **+82-42-481-8578**	Authorized officer **PARK, HYE LYUN** Telephone No. **+82--**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2022/018574

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2017-0355040 A1 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES MACHINE TOOL CO., LTD.) 14 December 2017 (2017-12-14) See the entire document.	1-80

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/US2022/018574

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 2020-0075534 A1	05 March 2020	CN 112956011 A	11 June 2021
		EP 3821461 A1	19 May 2021
		TW 202025393 A	01 July 2020
		US 11011494 B2	18 May 2021
		US 2022-0005784 A1	06 January 2022
		WO 2020-046677 A1	05 March 2020
US 2018-0151523 A1	31 May 2018	TW 201508850 A	01 March 2015
		US 11121104 B2	14 September 2021
		US 2015-0061115 A1	05 March 2015
		US 2016-0211234 A1	21 July 2016
		US 9331038 B2	03 May 2016
		US 9881888 B2	30 January 2018
US 2019-0393086 A1	26 December 2019	US 10446441 B2	15 October 2019
		US 10840135 B2	17 November 2020
		US 2018-0350674 A1	06 December 2018
		US 2021-0082754 A1	18 March 2021
		WO 2018-226618 A1	13 December 2018
US 2017-0047307 A1	16 February 2017	CN 107924878 A	17 April 2018
		CN 109844934 A	04 June 2019
		EP 3533083 A1	04 September 2019
		KR 10-2019-0062532 A	05 June 2019
		TW 201705615 A	01 February 2017
		TW 201830537 A	16 August 2018
		US 10535626 B2	14 January 2020
		US 10886250 B2	05 January 2021
		US 10892246 B2	12 January 2021
		US 2017-0012021 A1	12 January 2017
		US 2017-0194279 A1	06 July 2017
		US 2018-0218998 A1	02 August 2018
		US 2020-0152598 A1	14 May 2020
		US 2021-0225801 A1	22 July 2021
		US 9633971 B2	25 April 2017
		US 9818713 B2	14 November 2017
		WO 2017-011228 A1	19 January 2017
		WO 2018-081293 A1	03 May 2018
US 2017-0355040 A1	14 December 2017	CN 107112199 A	29 August 2017
		CN 107112199 B	17 August 2021
		EP 3240015 A1	01 November 2017
		JP 06-165127 B2	19 July 2017
		JP 2016-119415 A	30 June 2016
		KR 10-1994011 B1	27 June 2019
		KR 20170086619 A	26 July 2017
		TW 201635338 A	01 October 2016
		TW I596651 B	21 August 2017
		US 0486263 B2	26 November 2019
		WO 2016-103846 A1	30 June 2016

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2019)

フロントページの続き

,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,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁理士　山本 泰史
(74)代理人　100144451
弁理士　鈴木 博子
(74)代理人　100168871
弁理士　岩上 健
(72)発明者　ミルカリミ ローラ ウィルズ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３４ サンノゼ オーチャード パークウェイ ３０２５
(72)発明者　ウゾー シプリアン エメカ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９５１３４ サンノゼ オーチャード パークウェイ ３０２５

Ｆターム（参考）　5F033　HH07 HH08 HH11 HH12 HH15 HH18 HH19 HH21 MM01 MM12
MM13 MM30 PP27 QQ00 QQ48 QQ73 RR01 RR04 RR06 RR08 RR21
VV07 WW01 WW03 WW08 XX00