

令和元年6月10日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06034

研究課題名(和文) マイクロデバイスの高気密封止のための金属の常温接合に関する研究

研究課題名(英文) Room temperature metal bonding for highly hermetic sealing of microdevice

研究代表者

倉島 優一 (Kurashima, Yuichi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員

研究者番号：70408730

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロデバイスの気密封止には金メッキによる封止枠等が広く用いられているが、メッキによる金の表面は非常に粗いため、高温・高圧下で金を変形させて接合面同士の密着を図る必要がある。このため熱膨張係数の異なる異種材料を含むマイクロデバイスのような場合には、接合後に熱応力が残留するなどの問題がありデバイス特性を悪化させる原因になっていた。超平滑な基板表面にスパッタ成膜された金薄膜を封止基板上の金メッキ表面に写しとる手法を開発し表面活性化常温接合に適応させたところ、従来の熱圧着法と同程度の高強度が得られた。さらに気密封止性について評価したところ、Heリーク試験での測定限界以下のリーク率であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エレクトロニクス実装分野において金属同士の接合を実現するには、高温下での接合が一般的であった。原子レベルで平滑な表面を用いることで、常温低荷重でデバイスの真空気密封止を可能にする技術を新たに確立した。この技術を用いればダメージレスのデバイスパッケージングへの実現につながる。これにより研究室レベルでしか実現出来なかった様々なデバイスが世の中に製品として広く実用化されることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We demonstrated a direct transfer technique of Au thin layer onto electroplated Au surface from a surface of atomically smooth master wafer. An atomically smooth Au surface with a root mean square surface roughness of 0.6 nm could be transferred from the master wafer. We also examined its applicability to room-temperature Au-Au bonding in atmosphere. A high bonding strength of about 225 MPa was obtained. As a result of He leak testing, it also showed high hermeticity less than measurement limit.

研究分野：マイクロデバイス実装、常温接合、微細加工

キーワード：常温接合 マイクロデバイス 実装 MEMS 微細加工

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

多くのデバイスでは気密封止が要求され、例えば水分や酸素に弱い有機 EL 材料では気密性の高いパッケージングが必要不可欠である。また、共振型 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems: 微小電気機械システム)をはじめ加速度センサーや赤外イメージセンサーなどのマイクロデバイスは常温でダメージが低い高真空気密封止が要求されている。しかし、こうしたデバイスの気密封止には技術的課題が多いため容易に製品化されないのが現状である。マイクロデバイスのパッケージングでは、しばしば金属メッキにより数 μm 程度の封止枠やパンプ電極が作製され、ウエハーレベルで大量のデバイスを一括でパッケージングすることにより低コスト化を図ることが可能である。最近では、変形が比較的容易で原子拡散係数が大きく腐食や酸化しにくい等の理由から、金が封止及びパンプ材料として広く用いられている。しかし、メッキによる金の表面は粗く、接合時に高温・高圧下で金を変形させて接合面同士の密着を図る必要がある。このため熱膨張係数の異なる異種材料を含むマイクロデバイスのような場合には、接合後に熱応力が残留するなどの問題が発生しデバイス特性を悪化させる原因になっている。

2. 研究の目的

接合前の金メッキ封止枠表面を原子レベルで平滑にさえすれば、常温でも低加圧で接合を実現出来る可能性が高いと考え、超平滑な基板表面にスパッタ成膜された金薄膜を金メッキ封止枠表面に写しとる手法を開発することを目的とした。また、この写しとった超平滑な金メッキ封止枠表面を表面活性化常温接合に適用させ気密封止への検討を図った。

3. 研究の方法

3.1 表面活性化常温接合

図1に超平滑な基板表面にスパッタ成膜された金薄膜を金メッキ表面に写しとる手法及び写しとった金メッキ表面を用いた表面活性化常温接合法を示す。マグネトロンスパッタ成膜装置を用いて封止基板上(4インチシリコンウエハー)にチタン及び金を膜厚それぞれ 50 nm 及び 100 nm 成膜しメッキのための導電(シード)層とした。フォトリソグラフィーにより 100 μm の線幅で $3 \times 3 \text{ mm}^2$ の凹型の封止枠レジストパターンを封止基板上に約 6 mm 間隔で作製した。ここで作製した凹型パターンの溝に金を電気メッキにより 10 μm 埋め込んだ。レジストを除去し封止基板上に金メッキパターンを作製した。図1(b)に超平滑基板上的金薄膜と封止基板上的金メッキパターンを熱圧着する様子を示す。膜厚 25 nm の熱酸化膜付き超平滑基板(4インチシリコンウエハー)上に金薄膜をマグネトロンスパッタ成膜装置により膜厚 100 nm 成膜しておき、この金薄膜と表面が荒れている金メッキパターンとを温度 200 $^{\circ}\text{C}$ 、加圧保持時間 10 分で熱圧着によりナノインプリント装置(Obducat, Ltd., Eitre 8)を用いて接合した。この時メッキ表面にかかる圧力は最大 150 MPa であった。図1(c)は超平滑基板上的金薄膜を金メッキ表面に写しとる様子を示している。接合後、封止基板と超平滑基板を分離させることで封止基板上的金メッキ表面に超平滑基板上的金薄膜を写しとった。これは、シリコン酸化膜と金との密着力が弱いことを利用している。転写後金メッキ表面上の金薄膜の表面粗さを原子間力顕微鏡(AFM; SII Nano Technology Inc., L-trace)により観察した。図1(d)に金メッキ表面に写しとられた金薄膜と MEMS 基板上的金薄膜とを接合する様子を示す。金メッキ表面に写しとられた金薄膜とシリコンウエハー上(図1(d)の MEMS 基板に相当するもの)に 50 nm スパッタ成膜した金薄膜表面に、200 W のアルゴンの RF プラズマを 15 秒照射し、それぞれの表面に吸着している有機物等をエッチング除去し活性化させた。金は大気中でもほとんど酸化しないため表面に吸着したわずかな有機物を取り除くだけで表面活性化が可能であると考え、照射時間は 15 秒とし表面荒さ悪化の影響を極力小さくした。封止基板上的金メッキパターンと接合する相手基板は、将来的には MEMS デバイスなどが加工されている基板等を想定しているが、本実験では接合特性を評価するためシリコンウエハーを用いた。表面活性化後 1 時間以内に、金メッキ表面上の金薄膜とシリコンウエハー上の金薄膜とをナノインプリント装置を用いて常温大気中で、加圧保持時間 1 分、3 MPa の圧力で接合した。この時メッキ表面の接合部にかかる圧力は最大 90 MPa であった。接合後ダイサーを用いて約 6 mm 角に切り出して 1 封止枠ごとの接合強度を引張試験により測定した。

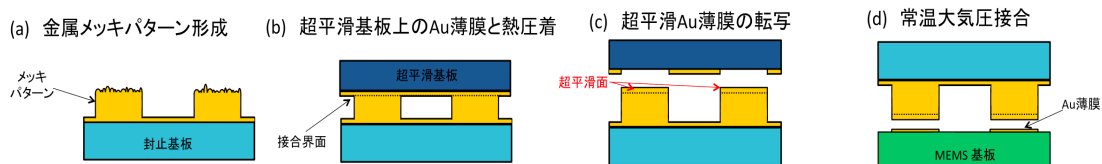


図1 金メッキ封止枠表面の平滑化と表面活性化常温接合

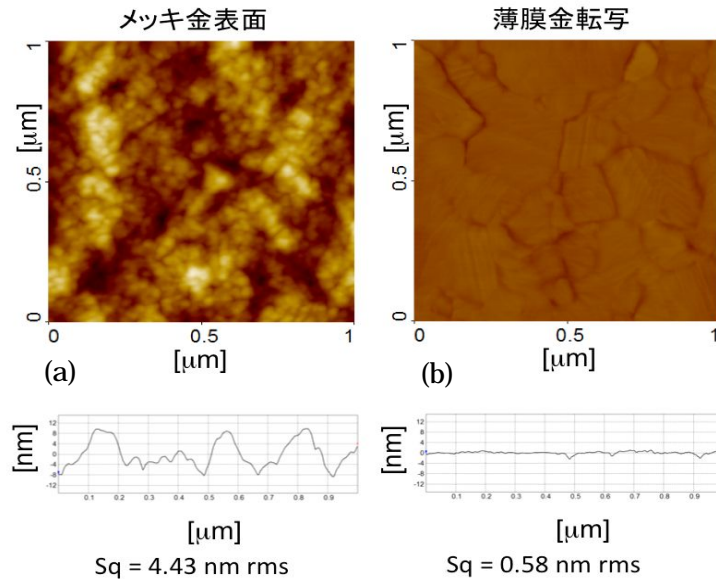


図4 (a)金メッキ後及び(b)剥離転写された金薄膜表面の AFM 像

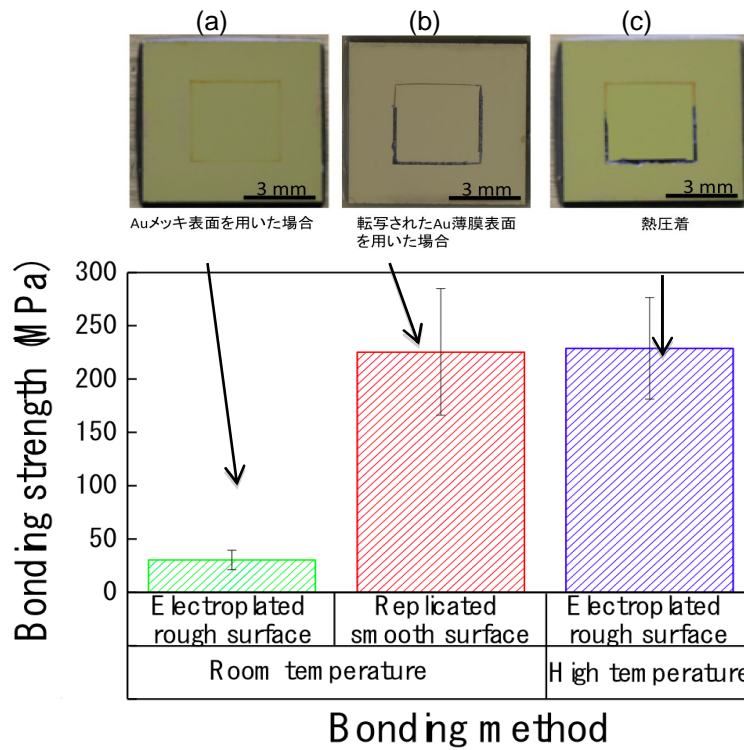


図5 各種接合方法による接合強度

4.2 気密封止性の評価

ファインリーク試験：気密封止したサンプルのヘリウムリーク試験をしたところ、リークレートは $7 \times 10^{-11} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ となりヘリウムリーク試験での測定限界以下であった。
 グロスリーク試験：封止サンプルをフロリナート中に入れて 23 から徐々に液温を上昇させ最終的に液温を 120 まで加熱したところ、50 μm 程度意図的にリークパスを形成した封止枠では液温が 31 でキャビティから気泡漏れが確認出来たのに対して、剥離転写法により表面を平滑化した金メッキ封止枠サンプルでは 120 まで加熱してもキャビティから発泡漏れは無かった。

TEM 観察：図6は剥離転写法による平滑な金メッキ封止枠表面を表面活性化常温接合により接合した界面のTEM像である。10 nm以下の球形のボイドが存在するもののリークパスになるような大きな接合欠陥は観察されなかった。

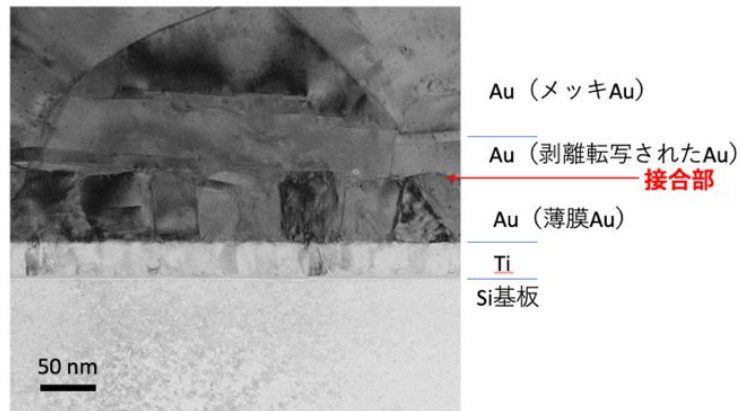


図6 接合界面の断面 TEM 像

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

倉島 優一、松前 貴司、高木 秀樹、Room-temperature Au-Au bonding in atmospheric air using direct transferred atomically smooth Au film on electroplated patterns、Microelectronic Engineering、査読有、189 巻、2018、1-5

〔学会発表〕(計 2 件)

倉島 優一、松前 貴司、高木 秀樹、Direct transfer of atomically smooth Au film onto electroplated patterns for room-temperature Au-Au bonding in atmospheric air、2017 5th International Workshop on Low Temperature Bonding For 3d Integration(国際学会)、2017

倉島 優一、松前 貴司、日暮栄治、高木 秀樹、Au メッキ封止枠を用いた常温気密封止接合 剝離転写法によるメッキ表面の平滑化、2019 精密工学会春季大会学術講演会、2019

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年：
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：高木秀樹

ローマ字氏名：(TAKAGI, Hideki)

所属研究機関名：産業技術総合研究所

部局名：エレクトロニクス・製造領域

職名：副センター長

研究者番号(8桁): 00357344

(2)研究分担者

研究分担者氏名：鈴木健太

ローマ字氏名：(SUZUKI Kenta)

所属研究機関名：産業技術総合研究所

部局名：エレクトロニクス・製造領域

職名：主任研究員

研究者番号(8桁): 60709509

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。