

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14406

研究課題名(和文) ストレスマイグレーションを利用した構造材接合

研究課題名(英文) Structural material joining utilizing stress migration

研究代表者

菅沼 克昭 (Suganuma, Katsuaki)

大阪大学・産業科学研究所・教授

研究者番号：10154444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：銀(Ag)スパッタ膜を低膨張材料であるシリカ(SiO₂)上に膜厚1μm厚さで形成し、250 から400 の間で60分間加熱し、Agヒロック形成状態の評価とSiO₂同士の接合を実施。大面積への適用の可能性を明らかにするため、SiO₂ブロックは20mm角の接合面とし、Ag膜の下にTi接合間層を形成し接合加圧力は0.4MPa、接合雰囲気は大気とした。接合体から3mm角の棒状の3点曲げ試験片を切り出し、接合強度の切り出し位置の依存性をヒロック形成状況と関連させて評価した。SMB接合法の大面積材料への適用においては十分に高強度な接合が可能であるが、周辺部の未接合領域が数百μmの幅で形成されることがある。

研究成果の概要(英文)：A silver (Ag) sputtered film was formed to a thickness of 1 μm on silica (SiO₂) which is a low expansion material and heated at 250 . to 400 . for 60 minutes to evaluate the state of formation of Ag hillocks and the bonding between SiO₂ Joining was carried out. In order to clarify the possibility of application to a large area, it was conducted at the following: the SiO₂ block was a 20 mm square bonding surface, the Ti bonding layer was formed under the Ag film, the bonding pressure was 0.4 MPa, the bonding atmosphere was atmospheric pressure. Three-point bending test piece of 3 mm square with 3 mm square was cut out from the bonded body and the dependence of the cutting position of the bonding strength was evaluated in connection with the hillock formation state.

研究分野：先端実装材料研究分野

キーワード：Ag膜 接合 ストレスマイグレーション 拡散 ヒロック 強度 固相接合

1. 研究開始当初の背景

固相接合法は、高品質な接合を可能にする方法として知られているが、一方で、均一な接合面を得るために不活性雰囲気中で高温・高圧を必要とし、十分な拡散を引き起こすための時間を要し、形状が制約されコスト高になるなどの限界がある。本研究者が開発した被接合体面に形成した銀 (Ag) 膜のストレスマイグレーション接合法 (SMB) では、これらの課題を一挙に解決し、無加圧、低温、大気中の接合で、のようなほぼ完璧な接合面を得ることが出来る。このメカニズムは、Ag と Si などの低膨張基材との熱膨張差で膜中に生じる応力勾配で Ag 原子の拡散が表面に向かい生じ、さらに、Ag 表面で酸素との反応で Ag ナノ粒子層が表面に形成され、一種の液体状となり接合面のギャップを無理なく埋めて接合を実現するものである。金属の新たな低温低負荷接合法として大きな可能性を持っている。

2. 研究の目的

既に一連のパワー半導体のダイ接合に関する研究では 5mm 角以下のサイズの半導体ダイを用いて耐熱接続を検討してきた。接合面にあらかじめ接合面に形成した Ag 薄膜を用い、より大きな接合面への適用を調べる。大面積の構造体への低温、無加圧、大気中接合への適用が可能であると期待される。従来、固相接合では、高温で大きな荷重を掛け一軸加圧を行うことで、接合面の欠陥形成を避けてきたが、しばしば構造体自体の変形を招くための条件制約があった。しかし、ストレスマイグレーション接合法では高圧や高温の必要は無い。そこで本研究では、ストレスマイグレーション接合法をより大面積接合へ適用し、可能性と課題を明確にする。

3. 研究の方法

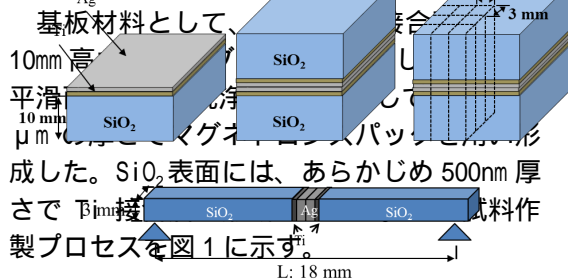


図1 接合試料の準備と曲げ試験片形状。

図2には、Ag 接合面の初期状態と断面組織を示す。Ag 膜中の結晶粒径は、およそ数百 nm の微細な状態で形成されている。

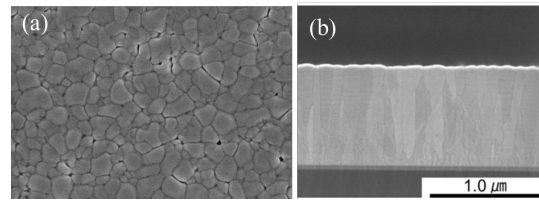


図2 Ag 膜の初期状態(SEM)。

2つのSiO₂ブロックを0.4MPaの定荷重の元で突き合わせ、大気中に於いて60分間の熱処理を200から400の範囲で実施した。得られた接合体から、図1に示すように接合面に垂直方向に長さを有する曲げ試験片を切り出した。

4. 研究成果

接合温度による接合強度変化を図3にまとめる。275以上の温度範囲で接合が可能になるが、300で最大強度約40MPaの良好な状態が得られる。それ以上の温度になると徐々に強度は低下し、400では20MPa程度に下がる。接合体のほぼ中央付近の接合界面への接合温度の影響を図4に示す。図3に対応するように、275ではまだ大きな未接合部位が残るが、300ではほぼ接合が完了し、それ以上の温度ではポイドが粗大化する様子が観察される。

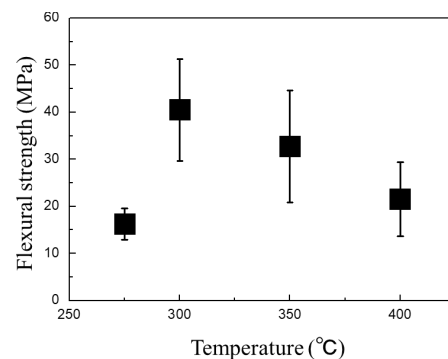


図3 接合強度への温度の影響。

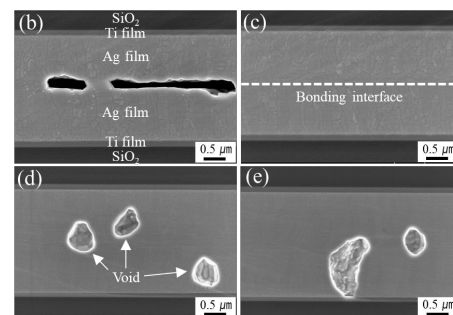


図4 接合界面形成の及ぼす温度の影響 (SEM)。

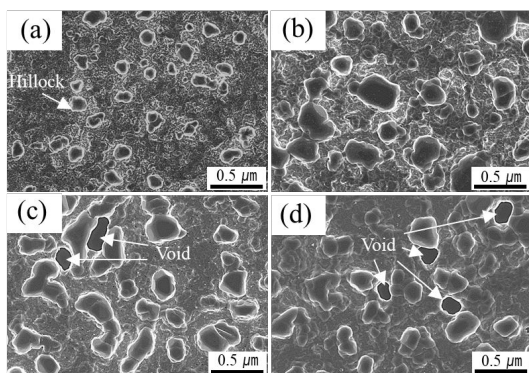


図 5 各温度でアニールしたときのヒロック形成状況 (SEM). (a)275、(b)300、(c)350、(d)400

SiO₂ ブロック上の Ag 膜表面への接合温度処理と同じ時間の処理を施したときの Ag ヒロック形成状況を図 5 に示す。いずれの表面にも Ag ヒロックが形成されているが、300 においてサブミクロンの比較的大きいヒロックが多数形成さ、ポイド等の形成は顕著では無い。これに対しより高温域ではヒロックは形成されるもののベースの Ag 膜にサブミクロンの大きさのポイド形成が明らかになっている。このような、ヒロックとポイド形成の相反する変化が最大強度を与える 300 の良好な強度を与えたものといえる。

固相接合の一つの課題が、接合面の周辺部位の未接合領域形成にある。そこで、今回の 20mm 角の接合面における接合の一依存性を強度の分布で評価し、結果を図 6 に示す。Row1 及び Column a が周辺、Row3/Column c が中心部となる。

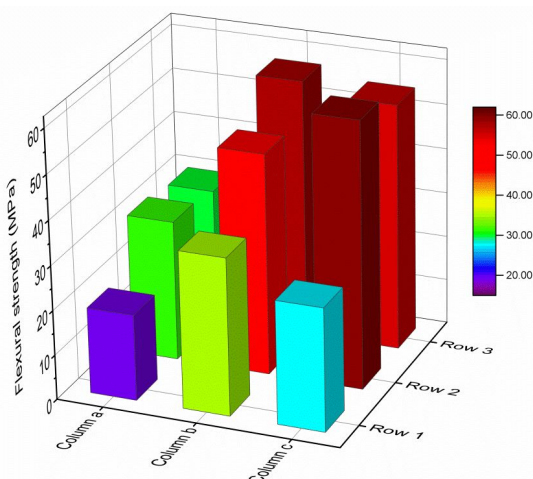


図 6 接合強度のサンプル位置依存性。

明らかに周辺部分 (Row1 と Column a) は、中央部に比較して低強度を示し、中央部位の強度は 60MPa を超えるばらつきの少ない高

強度になっている。図 7 には、これらの差が生じた代表的部位の断面組織を比較して示す。中央部位が欠陥が少ない完璧な Ag の接合がなされていることに比較し、角部になる場所では未接合部位の割合が極めて大きい。

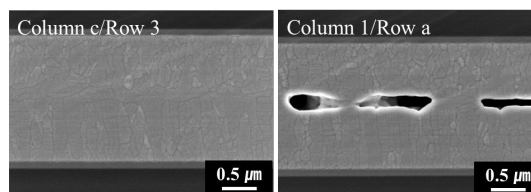


図 7 中央部分と角部の接合状態比較 (SEM).

このような接合部位に依存した影響が発生するのは、ヒロックの形成状態に位置依存性があるからと考えられる。そこで、未接合のサンプルを用い、300 熱処理が Ag 膜表面のヒロック形成へ与える影響を調べた。図 8 に表面観察結果を示す。

(a) がコーナー部位のマクロ組織状態を示す。明らかに周辺部と中心部で色の変化があり、周辺部の幅は約 700 μm になる。拡大することで、この変色部が、中央 (c) では粗大な無数のヒロックが形成される領域に対し、周辺部位 (d) では、わずかな微小ヒロックが生じる領域で分かれていることが示された。すなわち、接合に必要な Ag ヒロックが周辺の端から 700 μm の領域では形成できず、接合面が埋められず、強度が低くなることが分かる。

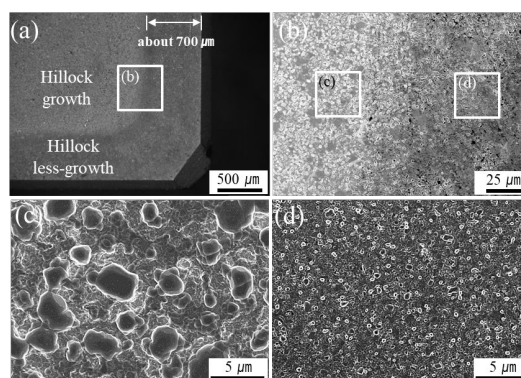


図 8 周辺近傍のヒロック形成の変化 (SEM). (a) の右下が接合面コーナー. (b) は変色領域境界の拡大.

ヒロック形成状態の位置依存性を図 9 に定量化して示す。周辺部位では、小さなヒロックが多数形成される傾向にある。

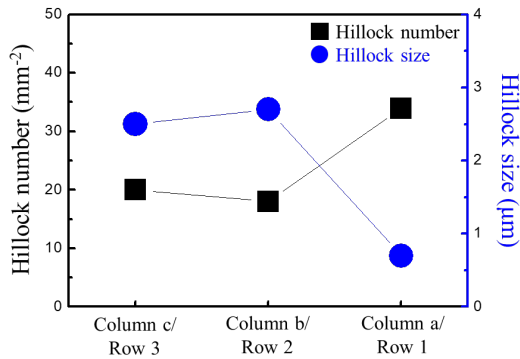


図9 ヒロック形成状態(サイズと形成密度)へ及ぼす位置の影響.

このようなヒロック形成に位置依存性が発生する原因としては、次のような項目が挙げられる。まず、Agスパッタ膜の不均一性が膜厚か粒界などの微細構造の変化として、接合面上の特に周辺部で現れる場合である。これは、実際のAgスパッタ膜の表面、及び断面組織を評価することで判断できるが、本研究で観察する範囲では、膜厚は均一に端部まで形成され、粒界の微細さにも位置依存性は認められなかった。もう一つは、端部のAg膜内部の応力状態の変化であるが、これは、加熱する時点で端部面が拘束されていないことから生じる影響になる。本研究では、この影響の評価を有限要素法を用いて評価した。仮定条件として、Ag膜を形成したサンプルの室温に置ける内部応力は解放されゼロとし、これを250℃まで昇温した場合のVon-Mises応力分布を計算した。結果を図10に示す。

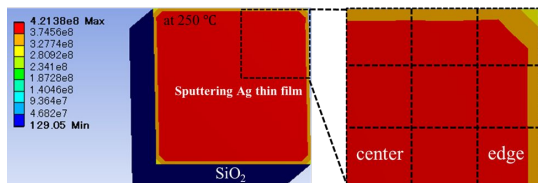


図10 Agスパッタ膜を形成したサンプルを250℃に加熱した時の内部応力分布(Ansys).

図11には、位置の関数としてVon-Mises応力変化と曲げ試験で得られた強度の位置依存性を重ね合わせて示す。中央部分は均一な圧縮応力状態であるのに対して、周辺部の約1mm弱の範囲では圧縮応力が小さくなっている。これが、端部でAg膜が変形の拘束されていないために現れる低応力領域に相当する。

以上、本研究により、SMB法は大面積の接合にも有効であることが証明された。300

程度の低温域で低加圧の条件で、ほとんどボイドなど欠陥の無い完璧な接合を実現する。Ag膜は熱伝導率は金属中最も高く、電気抵抗値は最も低いので、電気接続だけで無く放熱用途にも有効に利用できるだろう。ただし、端部の約1mm幅に生じる未接合部位の発生には留意する必要がある、良い信頼性の高い接合のためには、この部分への対策が必要となる。

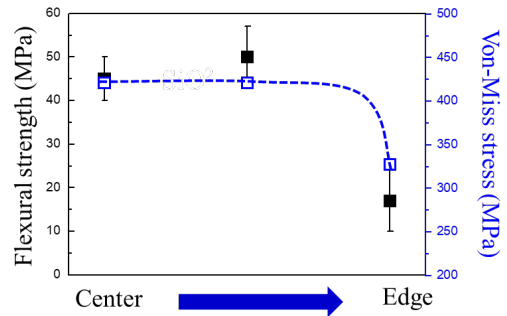


図11 Ag膜中に現れるVon-Mises応力の分布と接合曲げ強度変化.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計2件)

1. S Noh, C. Chen, H. Zhang, K. Suganuma, Large area die-attachment by silver stress migration bonding for power device applications, 29th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis (国際学会)
2. Katsuaki Suganuma, Sinter Joining and Wiring without Pressure Assist for GaN Power Device Interconnection, TMS 2018 147th Annual Meeting & Exhibition Phoenix, US 2018/3/12-15 (国際学会)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

[その他]

ホームページ:

<http://eco.sanken.osaka-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

菅沼克昭(SUGANUMA, Katsuaki)

大阪大学・産業科学研究所・教授

研究者番号: 10154444