

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K04628

研究課題名(和文) ナノNi粒子による応力緩和型高温実装用インタコネクション技術研究

研究課題名(英文) Study on interconnection technology for high temperature resistant packages with stress release structure by using Nano-Ni particles

研究代表者

巽 宏平 (Tatsumi, Kohei)

早稲田大学・理工学術院(情報生産システム研究科・センター)・教授

研究者番号：80373710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：SiCなどの化合物半導体の、特に高温耐熱デバイスとしての特徴を活かすためには、新たな実装技術開発が必要となっている。従来使用されてきた、半田材料は融点が低く、代替材料として、Au-Ge合金、ナノAg粒子などが検討されてきたが、チップと基板の熱膨張差で発生する熱応力の緩和が課題となっていた。本研究では、高温耐食性についてもすぐれるナノNiに着目し、粒子製造から、接合条件の最適化まで取り組んできた。ナノAg粒子と比較すると、焼結温度は100程度高温となる約350で、十分な接合強度が得られ、また応力緩和用に挿入するAlとナノNi粒子の接合も低温で可能で、高い接合信頼性を示すことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to take full advantage of the characteristics of SiC semiconductor, especially as high temperature heat resistant devices, the development of new packaging technology is required. Since the solder materials which have been used conventionally have a low melting point, Au-Ge alloys, nano Ag particles, etc. have been studied as alternative materials, but the relaxation of thermal stress caused by CTE mismatch between the chip and substrate was considered to be a major subject. In this research, focusing on nano Ni which is highly resistant also against high temperature corrosion, we have worked on Ni nano-particle production and optimization of bonding conditions. Compared to Ag particles, their sintering temperature is relatively high. However the bonds are once formed and then their bonding strength is sufficiently high. The bonding of nano-Ni particles to Al foils inserted for stress relaxation is also possible at low temperature, and showed high bond reliability.

研究分野：材料科学

キーワード：ナノニッケル粒子 導電接続 パワーデバイス シリコンカーバイド 熱応力緩和

1. 研究開始当初の背景

エネルギー問題への対応のため、高効率のパワーエレクトロニクス技術の重要度が増してきている。中でもパワー半導体は、パワーエレクトロニクス技術を左右するデバイスとして高性能化への開発が進められてきた。SiC などの化合物半導体は、従来の Si 素子を上回る省エネ化を達成することができ、さらに高温での動作が可能であることが実証されてきた。しかし特に高温耐熱デバイスとしての特徴を活かすためには、従来のハンダ材料を使用した接続技術に代わる新たな実装技術開発が必要となっている。従来使用されてきた、ハンダ材料は融点が 200°C 前後で、高温動作には不適である。代替材料として、Au-Ge 合金、ナノ Ag 粒子、ナノ Cu 粒子 [1] [2]、などが検討されてきた。また当研究室では、ナノ Ni 粒子に着目した検討を行ってきた [3] が、いずれもチップと基板の熱膨張差で発生する熱応力の緩和が課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、高温耐食性についてもすぐれるナノ Ni に着目し、比較的低温で焼結が可能で、十分な接合強度が得られることを実証する。さらにまた応力緩和が可能で、比較的サイズの大きいチップにおいて、高い接合信頼性を示すことを明らかにする。

3. 研究の方法

Ni ナノ粒子の接合には Ni ナノ粒子溶液を静電噴霧装置により塗付したものとペースト化したものをスキージにより塗布することで、接合に供した。平均粒径が 20nm~90nm のナノ粒子を使用した。

図 1 に静電噴霧装置の模式図を示す [4]。ノズル内にナノ Ni 溶液を入れ、ステージに噴霧対象となる試料を設置する。ここでノズル内には陽極端子が組み込まれており、ステージは陰極となっている。そしてノズルの先端を試料に近づけ、高圧電源よりの電圧を印加すると、溶液が形成された電気力線に沿って陰極に引付けられ、噴霧が行われる。その際、Ni 粒子は静電力により、液面の表面張力を破って微細化する。また帯電しているため、反発しあい凝集することなく噴霧が可能である。印加電圧は 2.5kV、ノズル/試料表面間隔は 7mm を標準とした。

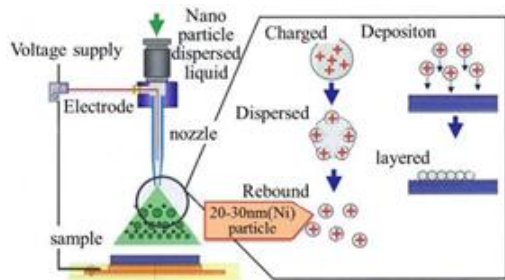


図 1 静電噴霧装置の模式図

銅フレームへの接合評価には、厚み 0.1mm のステンレス板で作製したメタルマスクを用いて T0-247 リードフレーム側にペーストを塗布し、チップを塗布部上に乗せて、保持時間 60 分、加熱温度 250°C~400°C、加圧 20MPa の接合条件で接合を標準とした。

試験には Si ダミーチップならびに SiC ダイオードチップ (1,200 V, 15 A, SiCED 社製) を使用した。Si チップの上面には Al の蒸着膜を形成したものを用い、ナノ Ni との直接接合の評価を行った。Si チップサイズは 2.7mm x 2.7 mm、5.0 mm x 5.0 mm、7mm x 7 mm のものを使用した。SiC ダイオードのサイズは 2.7x2.7mm のものを使用した。上面は、Al 膜、下面は Ag 膜電極が形成されている。

接合強度試験は作製したサンプルをステージに固定し、せん断速度 0.1mm/秒の条件下で接合強度を測定した (図 2)。

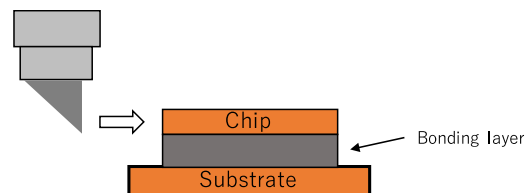


図 2 シェアテスト模式図

応力緩和の評価には、純 Al 箔をナノ Ni 層の中間領域に挿入し接合した。

チップ上面電極とリードとの接合は、銅箔リードを Ni ナノ粒子により、電気的接続を行った。

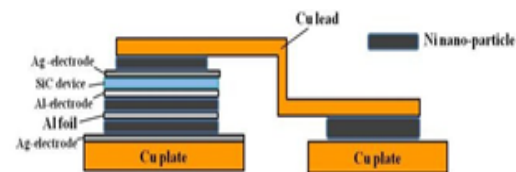


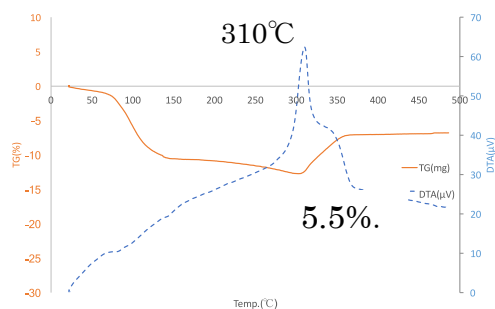
図 3 実デバイス評価のための接合 (ナノ粒子層に Al 応力緩和層を挿入)

4. 研究成果

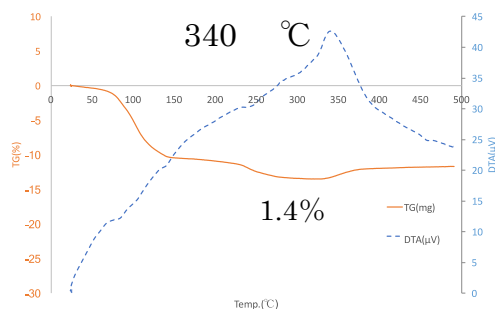
図 4 に Ni 粒子 (平均粒径 25nm) の熱分析結果を示す。大気中では 310°C で発熱ピークを示すのに対して、N2 中では、340°C で発熱ピークを示した。また前者は、重量増が 5.5% であるのに対して、後者は、1.4% 程度となった。有機成分の反応除去された後酸化による重量増を示しているものと考えられる。N2 雰囲気では、低酸素濃度となっているためと考えられるが、詳細は、今後調査する必要がある。接合強度が発現する温度に対応するシンタリングについては、TEM 観察により、大気中でも 400°C 付近では、ナノ

粒子のシンタリングが明らかに観察されている。

ナノ粒子の粒径の違いによる接合強度と接合温度の関係については、図5に示す。大気中での接合の結果であるが、100nm以下の粒径のNi粒子では、300°C程度から、接合強度が顕著に増加しており、高融点金属の低温接合が可能であることがわかる。



(a) 熱分析結果 (大気)



(b) 熱分析結果 (N2 中)

図4 ナノ粒子 (平均粒径 25nm) の熱分析

粒径が20nmのものでは、200°C程度から、接合強度が発現するのに対して、高温側での強度が比較的低い。これは比表面積が大きいために、酸化の影響がより顕著になるためと考えられる。

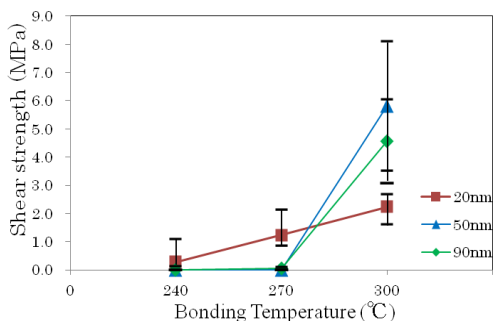


図5 粒子サイズ別ナノ Ni の接合温度と接合強度の関係

る、強度変化を示す。接合対の表面はAgで、加熱温度は十分にシンタリングが進行する400°C、1時間保持の条件で行った。

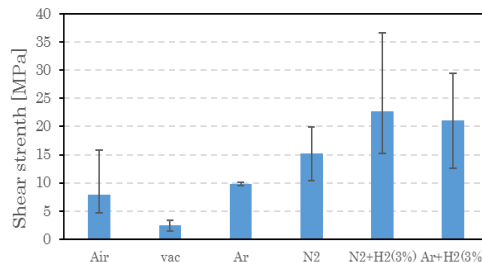


図6 加熱接合時の雰囲気の違いによる、強度変化

次にNi粒子のAlへの直接接合について検討を行った。図7に、Al面同士を対向させたSiチップに対して、ナノNi粒子を塗布し、接合した。大気中での接合においても300°C程度の接合温度で、比較的高い強度が得られており、他の材料では見られない特徴を示している。図8には接合断面のSEM像を示すが、ナノNiの粒成長(シンタリング)は顕著ではないものの、Alとの接合界面に、ボイドなど、界面の欠陥は成長していない。ナノNi粒子とAlとの直接接合が、大気中300°C程度の温度で加熱できること明らかとなった。

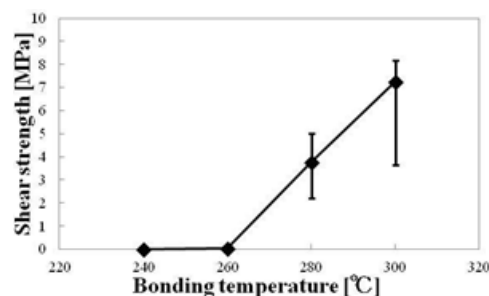


図7 Al電極へのナノNi粒子による直接接合におけるシヤ強度と接合温度

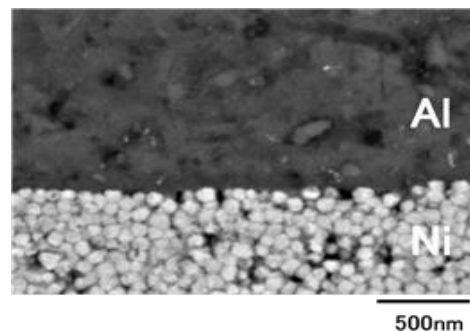


図8 ナノNiとAl接合界面断面SEM像 300°C、30分加熱

図9は、高温長時間での強度変化を示すもので、300°C 100時間の大気中加熱においても、AlとナノNi粒子との接合は、ほとんど接合強度の変化がみられず、長期信頼性についても、実用性が期待できることが示唆された。

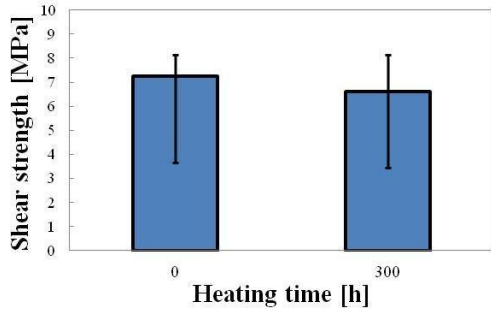


図9 ナノ Ni と Al 接合強度の 300℃ 100 時間加熱後の強度変化

Al とナノ Ni 粒子との接合が可能であることに着目して、さらに熱膨張差のある被接合体への適用について検討をおこなった。図 10 は接合体の断面構造の模式図である。Si または SiC チップと銅基板との接合において、ナノ粒子層の間に純 Al 箔を挿入して接合を行った。Al 箔の厚みは 12 μm のものを使用した。

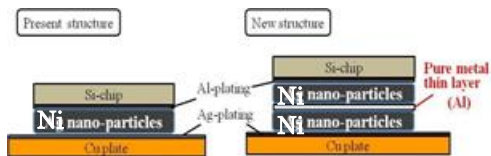


図 10 Al 箔をナノ粒子中間層として挿入した場合の構造断面模式図

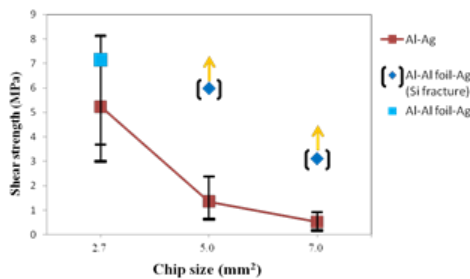


図 11 ナノ Ni 接合による接合強度のチップサイズ依存性と Al 箔挿入による応力緩和効果

図 11 に、チップサイズを 2.7mm × 2.7 mm、5.0 mm × 5.0 mm、7mm × 7 mm のものを使用して銅基板に接合した場合の、単位面積あたりのシヤ強度を示す。ナノ Ni のみによる接合の場合 (■) ではチップサイズが大きくなると、接合後冷却時に、熱膨張差による予亀裂があるとみられ、強度が低下している。一方 Al 箔を挿入したもの (◆) では、応力緩和が行われ、強度の低下は抑制されている。ただし、シヤテストの際には、大

チップの場合にはチップ破断が生じるので、実際の強度はさらに大きいものと推定されている。

この結果は、FEM による最大応力の発生の検討からも、実験結果を示唆するシミュレーション結果も得られた。現在はさらに、最適な応力緩和構造を検討しており、今年度中に公表できる見込みである。

さらに図 3 に示すように、SBD 実デバイス をナノ Ni により実装し、電気特性を評価した。図 12 は室温と 300℃、100 時間加熱後の I-V 特性を示すが、ほとんど変化はみられず、高温での接合の安定性を示しているといえる。また 300℃までの高温での I-V 特性を図 13 に示し、正常動作を確認した。

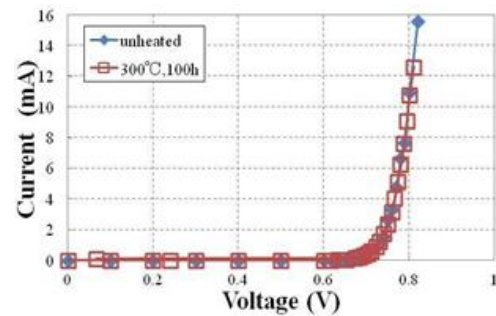


図 12 SBD の加熱前後 I-V 特性

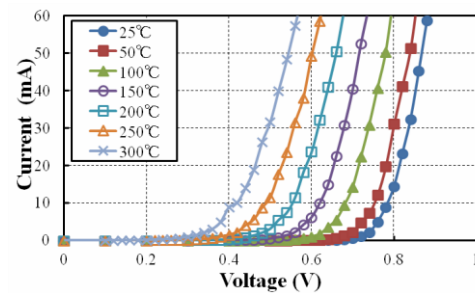


図 13 SBD の高温での I-V 特性

以上より、ナノ Ni による接合は、低温での接合が可能であり、また Al への直接接合が可能であることが明らかとなった。また応力緩和には、Al 箔などを使用することで、チップサイズの大きいものへの応用が可能であることを示した。

[参考文献]

- [1] 廣瀬明夫: 金属ナノ粒子を用いた接合技術、J-STAGE 表面技術 Vol. 59 No. 7 (2008)
- [2] 中許昌美 他: 銅ナノ粒子および銀-銅混合ナノ粒子を用いた低温接合プロセス エレクトロニクス実装学会誌 Vol. 13 No. 7 (2010)
- [3] 橋本卓, 蔡仲倫, 巽宏平, 野上敦嗣, 澤泰久: 高温耐熱実装のためのナノニッケ

ル粒子による接合技術の研究 日本金属学会 2013 年秋期講演予稿集 p. 192

[4] http://www.apicyamada.co.jp/pdf/seden_hunmu.pdf (アッピックヤマダホームページ資料(2013)に一部加筆)

[5] 田中康紀、橋本卓・飯塚智徳、巽宏平 他 エレクトロニクス実装学会 2014 春季講演大会 予稿集

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)

[学会発表] (計 2件)

[1] Yasunori Tanaka, Keito Ota, Haruka Miyano, Yoshiaki Shigenaga, Tomonori Iizuka, and Kohei Tatsumi, 2015 Electronic Components & Technology Conference p1371-1375

[2] Tatsumasa Wakata, Yasunori Tanaka, Tomonori Iizuka, Norihiro Murakawa, Kohei Tatsumi, 11th International collaboration symposium on Information, Production and Systems 2017, pIII 1-4

[産業財産権]

○出願状況 (計 3件)

名称：金属ナノ粒子を用いた金属接合構造及び金属接合方法

発明者：巽宏平 他 3名

権利者：早稲田大学、新日鉄住金

種類：特許

番号：特開 2015-93296

出願年月日：2013. 11. 11

国内外の別： 国内

○取得状況 (計 2件)

名称：電子部品の接合材、接合用組成物、接合方法、及び電子部品

発明者：巽宏平 他 4名

権利者：早稲田大学

種類：特許

番号：特許第 6061427

取得年月日：2016. 12. 22

国内外の別： 国内

名称：金属ナノ粒子を用いた金属接合構造及び金属接合方法ならびに金属接合材料

発明者：巽宏平 他 3名

権利者：新日鉄住金、早稲田大学

種類：特許

番号：US9960140

取得年月日：2018. 5. 1

国内外の別： 米国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巽宏平 (Tatsumi, Kohei)

早稲田大学・大学院情報生産システム研究科教授

研究者番号：80373710

(2) 研究分担者

犬島浩 (Inujimai, Hiroshi)

早稲田大学・大学院情報生産システム研究科教授

研究者番号：60367167