

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月28日現在

機関番号：24506

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656033

研究課題名（和文） エコ接着のための自己伝播発熱素材の開発とマイクロ鑄込成型技術

研究課題名（英文） Development of self-propagating exothermic materials and micro-scale casting technique for ecology bonding

研究代表者

生津 資大 (NAMAZU TAKAHIRO)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90347526

研究成果の概要（和文）：Al ナノ粒子に無電解めっきで Ni を成膜した AlNi ナノ粒子を任意形状に成形し、発熱体の開発に成功した。AlNi 成形体にスパークを当てると結晶構造変化が起こり、NiAl 化合物ができるために発熱反応した。この反応熱を用いてはんだを溶融させ、Si チップを接着することに成功した。

研究成果の概要（英文）：In this work, we have succeeded in the development of self-propagating exothermic structure. The structure consisted of Ni-coated Al nano-particles. By inducing a small spark at the vicinity of the structure, NiAl intermetallic compound could be produced with exothermic reaction. By using the reaction, SnAg solder film was melted, and solder bonding of Si chips in very short time period could be achieved.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	600,000	3,700,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：AlNi 発熱素材，ナノ粒子，多層膜，はんだ接着，実装，MEMS

1. 研究開始当初の背景

近年、半導体デバイスや MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) などのマイクロデバイスは高精度化・高機能化が進み、それらの膨大な量が製品化されている。通常、デバイス実装は、デバイス基板と回路基板との貼り合わせ技術（接合・接着技術）および真空封止や樹脂封止等の封止技術が不可欠であり、三次元フィードスルー電極や異種材料の接合等、高度な技術が使われている。しかし、例えば代表的な接合技術である陽極接合では、基板全体を 300℃～500℃程度まで加熱す

る熱処理工程を含み、しかも数十分以上の昇温時間が必須なため、それに要する電力量は極めて大きく、昨今の省エネルギー化・CO₂低排出化には不適合である。また、実装時の昇温工程は、デバイスの性能劣化や初期不良をもたらす可能性が高い。例えば、申請者は MEMS の基礎的構成材料である単結晶シリコン (Si) の寸法がマイクロ・ナノへと微小になると、100℃程度でも塑性変形を起こすことをこれまで明らかにしてきた (T. Namazu, et al., IEEE/ASME, J.MEMS, 11(2), 125-135, 2002)。既存実装手法を Si デバイスに適用す

る場合、昇温工程で単結晶 Si の塑性変形が生じ、デバイスの機能のみならずマイクロ構造そのものの破損を引き起こすと危惧される。したがって、MEMS の実用化や実装工程の低エミッション化に向け、局所かつ瞬時に加熱・接着可能な新規実装技術の提案・確立が、環境・省エネの点からも急務の課題であると言える。

2. 研究の目的

本研究は、1 秒未満の極短時間で 600～700℃相当の熱量を瞬時に提供可能な発熱素材からできたマイクロパーツを新開発し、それを熱源として、Si ウェハ接着のための局所はんだ熔融技術を提案する。この発熱素材は、アルミニウム (Al) とニッケル (Ni) のナノパウダーを、厚膜フォトレジストと泥しょう鑄込とを組み合わせた申請者独自の“μ 泥しょう鑄込法”により、マイクロサイズの任意形状に微細成型したものである。この成型体に極微弱なエネルギー (例えばスパークなど) を与えると、パウダー間の原子拡散で結晶構造変化が生じ、反応前後での結合エネルギーの差が熱として放出されるため、発熱する。初期の発熱が次の反応のためのエネルギー源となり、発熱反応はパーツ内を自己伝播する。本研究では、この、ほぼ 0W のエネルギーで発熱する自己伝播発熱マイクロパーツをはんだ熔融のための熱源として用い、低エネルギー・低コストでウェハを接着するための“エコ接着技術”の確立を目標とする。新規発熱素材の開発を通じて、現在、世界規模での急務の課題である省エネルギー化に取り組み、CO₂削減に貢献する。

3. 研究の方法

まず、厚膜リソグラフィと泥しょう鑄込との融合による“μ 泥しょう鑄込技術”による AlNi ナノパウダーの三次元マイクロ構造体製作技術の確立を目指す。粒径 100nm の Al と Ni ナノパウダーを原子比 1:1 となるように混合し、キシレンなどの液体と混ぜて泥しょうを作る。同時に、“μ 泥しょう鑄込”用装置を開発する。そして、厚膜レジストの SU8 で多孔質基板上にリソグラフィを行い、その上から泥しょうを加圧注入して、鑄型材下部を減圧することで、AlNi 発熱素材のマイクロ鑄込成型する技術を確認する。

次に、製作した AlNi マイクロ発熱素材を鉛フリーはんだ薄膜 (Ag-Sn など) を製膜した 2 枚の Si チップ間に挟み、発熱素材近傍でスパークを発生させ、発熱反応を誘引させてはんだを熔融し、Si チップを接着する技術を確認する。次に、微小部材用の強度試験装置を開発し、接着強度を定量評価する。そして、上記接着法を、4 インチウェハのはんだ接着に適用し、低 CO₂ 排出で省エネルギーな“エ

コ接着技術”を確立する。

4. 研究成果

自作したマグネトロンスパッタリング装置 (図 1) を用い、Al と Ni を交互に成膜して Al/Ni 多層膜を作製し、その自己伝播発熱反応を利用して Si ウェハの瞬間はんだ接着を行った。

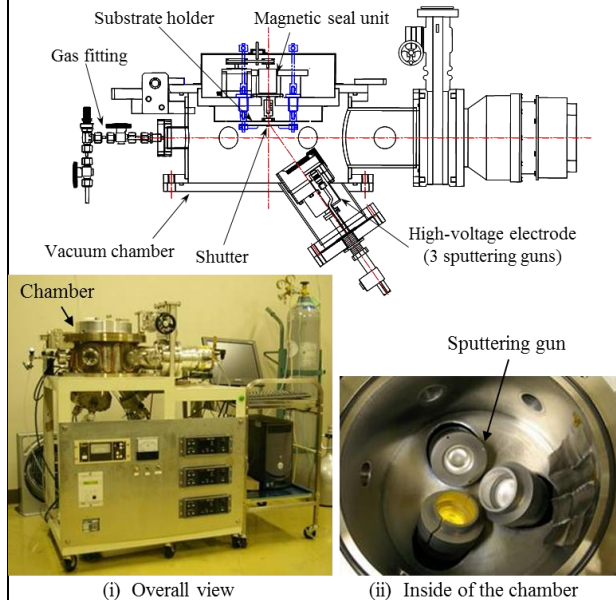


図 1 3 源スパッタリング装置 (自作機)

反応時の結晶構造変化により、反応後の NiAl は 12% 体積収縮するので、その内部にはクラックが生じた。反応の伝播方向とクラック生成位置とは相関があることがわかった (図 2)。そこで、マイクロデバイスの封止パッケージを模擬したキャビティを持つ Si チップを作り、それに対して複数点同時に反応を誘起させる技術を開発してクラックの位置制御を試みた。その結果、反応同士がぶつかる部分にクラック生成が可能なことを見出した (図 3)。さらに、接着部の幅を小さくし、Al/Ni 多層膜の厚みを薄くすることで、クラックレスの NiAl を製作することに成功した (図 4)。

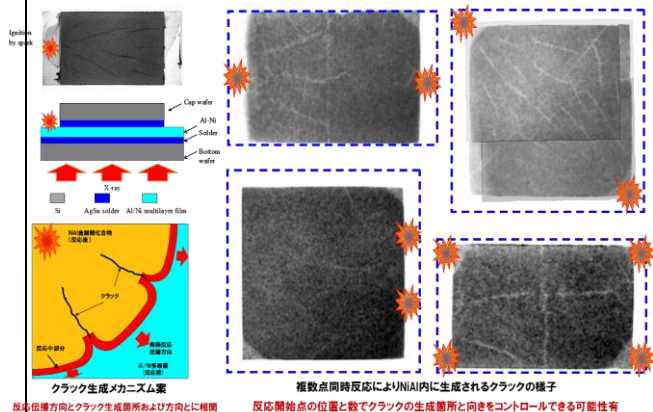


図 2 反応伝播方向とクラック生成位置

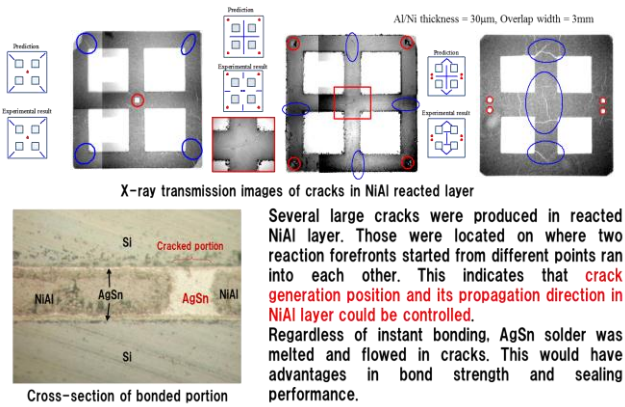


図3 複数点同時反応によるクラック制御

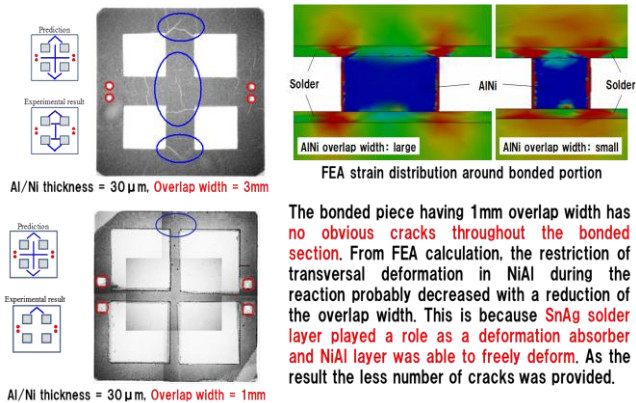


図4 接着部微小化によるクラックレス接着

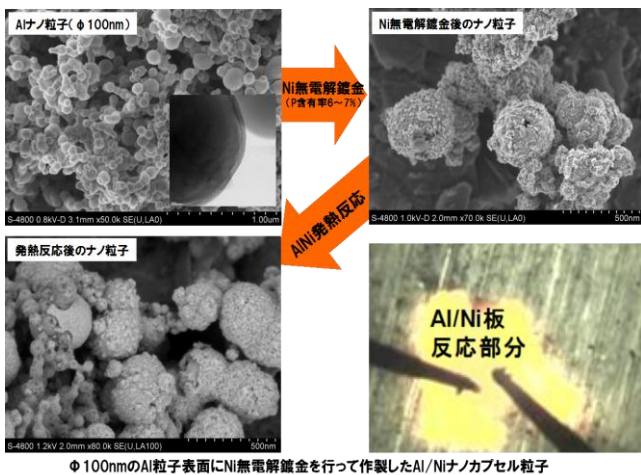


図5 AINi 多層粒子の作製結果の一例

一方、発熱ナノ粒子の製作について、直径100nm~30 μ mのAl粒子の周りに無電解めっきでNiを被覆する技術の確立を目指し、それに成功した(図5)。まず、Al粒子表面の酸化被膜を酸洗いして亜鉛を表面に付着させるジンケート処理を行った。次に、亜鉛と置換する形でNi被膜をAl粒子表面に堆積させた。ジンケート処理や無電解めっき条件を種々変化させ、生成エンタルピーが最大になる原子比1:1に成膜する技術を確立した。めっき後のAINiナノ粒子にスパークを与え、

発熱反応を誘起させたところ、発熱反応を生じた。反応前後のナノ粒子をEDX分析した結果、反応前のナノ粒子の表面にはNiが多く存在するのに対し、反応後の粒子表面にはAlとNiの双方が存在しており、反応が生じてNiAl化合物が生成したことを確認した(図6)生成したAINi粒子を加圧成形により所望の形状に成形し、それに対してスパークで反応を誘起した結果、AINi粒子成形体も発熱反応を生じた(図7)。反応速度はAINi多層膜より遅く、粒子径や膜厚比などを変えることで、反応速度を制御できることがわかった。

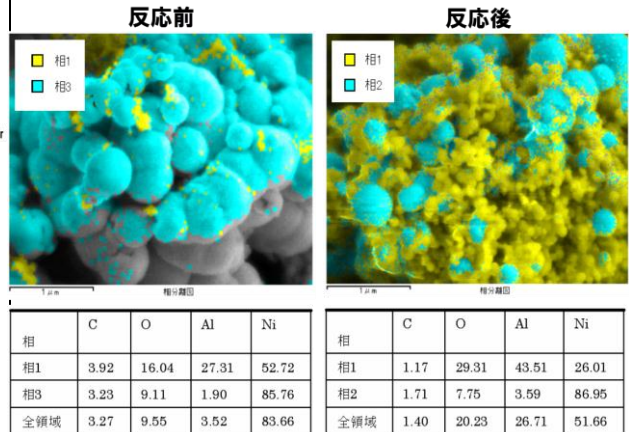
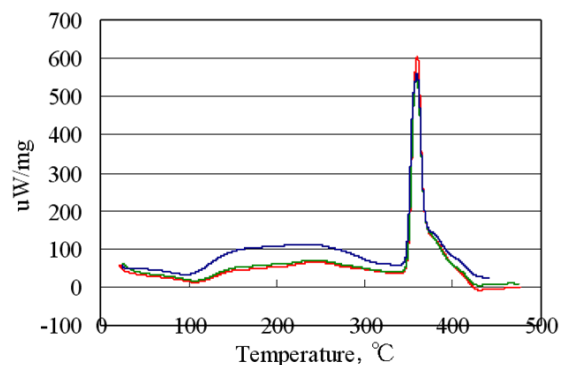


図6 AINi ナノ粒子反応前後のEDX結果



Alナノ粒子に無電解めっきでNi層を成膜可能
AINiナノ粒子の発熱反応を確認

図7 AINi ナノ粒子のDSC測定結果の一例

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2件)

① T. Namazu and S. Inoue, Al/Ni Self-Propagating Exothermic Film for MEMS Application, Materials Science Forum, 査読有, 638-642 巻, 2010, 2142-2147, doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.638-642.2142

②T. Namazu, K. Ohtani, K. Yoshiki, and S. Inoue, Crack-Less Wafer-Level Packaging Using Flash Heating Technique for Micro Devices, Materials Science Forum, 査読有, 706-709 巻, 2011, 1979-1983,
[doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.706-709.1979](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.706-709.1979)

〔学会発表〕(計4件)

①T. Namazu, Application of Nano-Layered Reactive Film to Silicon Soldering, 5th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, IWAMSN 2010(招待講演), 2010年11月12日, ベトナム・ハノイ

②T. Namazu, K. Ohtani, K. Yoshiki, and S. Inoue, Crack Propagation Direction Control of Crack-Less Solder Bonding Using AlNi Flash Heating Technique, 16th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, Transducers 2011, 2011年6月7日, 中国・北京

③T. Namazu, K. Ohtani, K. Yoshiki, and S. Inoue, Application of Al/Ni Exothermic Reaction to Sputtering Chamber Cleaning, 10th International Symposium on Sputtering & Plasma Process, ISSP 2011, 2011年7月7日, 京都リサーチパーク(京都)

④T. Namazu, K. Ohtani, K. Yoshiki, and S. Inoue, Crack-Less Wafer-Level Packaging Using Flash Heating Technique for Micro Devices, International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials, THERMEC 2011(招待講演), 2011年8月4日, カナダ・ケベック

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/mse/mse12/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

生津 資大 (NAMAZU TAKAHIRO)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90347526

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし