

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04592

研究課題名（和文）金属塩の生成・分解挙動の可視化とマルチマテリアル造形技術への応用

研究課題名（英文）Visualization of formation and decomposition behavior of metal salts and its application to multi-material modeling technology

研究代表者

小山 真司（Koyama, Shinji）

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：70414109

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、接合阻害因子として知られる自然酸化皮膜を有機酸に曝露することで金属塩被膜に置換し、熱分解させることで金属面を露出させる金属塩生成接合法を検討した。

筐体や熱伝導部品に金属塩生成接合法の適用を試みた。その結果、酸化皮膜の置換・還元除去に加えて、金属塩被膜が接合前の酸化皮膜の成長を抑制することで、より低温・低荷重で高い接続特性が得られることが明らかとなった。

樹脂と金属の直接接合に関する検討を実施し、金属側に金属塩被膜処理を施すと水素結合を阻害するために接合強度が低下するものの、樹脂側に有機酸を作用させることで物理化学的性状が変化することで、接合強度が大幅に向上することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電子実装分野においては、研究の主体が実装技術の開発やはんだ材料自身（高温強度や疲労特性）にあり、はんだと基板配線間の接合界面についての報告例は、その重要性に対して未だ少ない。本研究では、接合界面の微細構造と接合強度の関係を明らかにすることで、これからの接続部に対して有益な知見を得ることができた。また、はんだ付用フラックスは、被接合金属面の酸化皮膜を化学的に除去し、はんだと被接合面の親和性を高めると一般的に考えられているが、その改善機構は未だ未解明であったが、有機酸による表面改質効果を化学的に検証したことで、その改善機構の一部が明らかとなった。

研究成果の概要（英文）： In this study, we investigated a metal salt generating joining method in which a natural oxide film, known as an inhibitor of joining, is replaced by a metal salt film by exposure to an organic acid, and the metal surface is exposed through thermal decomposition.

The application of the metal salt generation joining method to enclosures and thermally conductive parts was attempted. As a result, it was found that, in addition to the replacement and reduction of the oxide film, the metal salt film inhibits the growth of the oxide film before bonding, resulting in higher bonding characteristics at lower temperatures and lower loads.

We conducted a study on direct bonding between resin and metal, and found that although the bonding strength is reduced by inhibiting hydrogen bonding when the metal salt film is applied to the metal side, the bonding strength is greatly improved by changing the physicochemical properties of the resin side by applying an organic acid to the resin side.

研究分野：低温精密固相接合

キーワード：低温接合 金属塩生成接合 低温接合 アルミニウム 銅 ステンレス鋼 はんだ

1. 研究開始当初の背景

(1) 電子実装分野においては、研究の主体が実装技術の開発やはんだ材料自身(高温強度や疲労特性)にあり、はんだと基板配線間の接合界面についての報告例は、その重要性に対してあまりにも少ない。本研究では、接合界面の微細構造と接合強度の関係を明らかにすることで、これからの接続部に対して有益な知見を得ることを目的としている。また、はんだ付用フラックスは、被接合金属面の酸化物を化学的に除去し、はんだと被接合面の親和性を高めると一般的に考えられているが、その改善機構は未だ明解ではなく、所望の効果が得られない実例が多数報告されている。本申請研究では、有機酸による表面改質効果を化学的に検証・証明することで、その改善機構を解明する。

(2) 申請者はこれまで、主として Sn, Cu, Ni の同種・異種の固相接合強度に対する低分子量の有機酸の接合表面改質効果に限定し検討してきた。その結果、いずれの材料表面においても、X線光電子分光分析(XPS)およびX線回折(XRD)により、酸化物の還元と置換誘導体(有機酸塩)が認められ、示差走査熱量測定(DSC)により、これらの有機酸塩は接合強度の上昇する温度域で発熱反応を生じながら分解することがわかった。したがって、接合表面における酸化物の還元と有機酸塩の熱分解が低温での接合強度上昇に大きく影響していることが示唆された。しかしながら、接合強度を議論する上で重要因子である接合界面組織については、その微細さゆえ、走査型電子顕微鏡(SEM)での観察にとどまっており、改質法についても簡易的に液中で煮沸することにより行っている。

そこで本申請研究では、学術性と実用性を高めるため、以下5項目について検討する。

① Sn, Cu, Ni 以外の接続部に用いられる材料(Al配線やSUS製マイクロ部品など)や電極めっき表面に対する他の有機酸(オレイン酸, ステアリン酸, 酒石酸など)による改質作用を調査する。

② 改質作用が認められた有機酸を適用した場合の接合界面微細組織を、透過型電子顕微鏡(TEM)により詳細に観察し、接合強度との関係及び反応生成物の界面での挙動を解明する。

③ 接合面を有機酸蒸気に曝露することにより改質操作をドライプロセス化し、液中浸漬処理した場合と比較することで、改質操作の汎用性(製造ライン化など)を検討する。

④ ドライプロセスの利点を活かし、改質操作による還元除去作用を利用した、母材と同種材の金属塩被膜付与金属ナノ粒子による精密・低温接合(Cu/Cu, Al/Al, SUS/SUS 直接接合)を実現する。

⑤ 金属塩被膜処理による被膜生成反応と、接合時の熱分解による被膜の熱分解反応を定量化およびデータベース化し、数値シミュレーションと組み合わせることで、汎用技術化を推進する。

2. 研究の目的

本研究は、電子デバイスの製造プロセスにおける3つの主題を研究目的としている。

1) 精密・低温固相接合：従来の熔融はんだ接合と異なり、電子実装の高密度化と微細化に対応し、反応層(脆弱層)形成を極限まで抑制することにより接続信頼性の向上を目指す。加えて、プロセス温度の低温化による接合強度に対するエネルギー効率の向上を目指す。

2) 環境調和：接合面酸化皮膜を有機酸により金属塩被膜に置換・除去することで、フラックスストレス(無洗浄)を実現し、金属塩の低温熱分解性を応用利用することで、同種・異種金属間の直接接合を目指す。また、はんだレスによる同種金属接合を推進することで、高信頼性を図る。

3) 標準接合技術化：接合界面のナノ構造と接合強度の関係、さらに金属塩の熱分解特性を可視化することで、接合表面改質操作の適用範囲拡大と、これからの界面接合技術に対して有益な知見を得る。さらに、取得した検討結果をデータベース化することで、マルチマテリアル化を促進する。

3. 研究の方法

(1) 金属塩の生成・分解による A5052 の環境調和型真空固相接合：試験片は A5052 を用い、直径 ϕ 38 mm で高さ 20 mm で円形端面を接合面とした。接合は、真空雰囲気中 (5.0×10^{-2} Pa 程度)、接合温度 550°C、接合圧力 0.97 MPa、接合保持時間 15 min で行った。接合面は、#100~#4000 のエメリー紙で研磨し仕上げた。表面改質処理として、A5052 を 17%の Na_2CO_3 水溶液(室温)に所定時間浸漬させた後、金属塩被膜処理として室温のギ酸(FA, 98%)に 5 min 間浸漬した。接合強度は、引張試験(室温、変位速度 0.0167 mm/s)により評価した。なお、引張試験片はワイヤーカットで、 ϕ 10 mm の丸棒に切り出し作製した。引張試験後の破面観察は SEM を、界面組織観察は SEM と EDX を用いて行った。界面組織観察用試験片はファインカッターで小型に切り出した後、電解研磨を行った。

(2) A5052/ガラス繊維強化 PA66 の熱圧着強度の改善：A5052 アルミニウム合金 (JIS に準拠、45 mm \times 18 mm \times 1.5 mm) およびガラス繊維強化 PA66 (レオナ 1300G, 45 mm \times 10 mm \times 3

mm) を接合材料とした。接合前に、アルミニウムの接合表面をエメリー紙 (#1200 まで) により機械研磨で仕上げた。その後、アセトン中で 10 min 間超音波脱脂洗浄を行い、接合試験に供した。本研究では、手動油圧加熱プレス機を用いて接合を行った。接合時の熱圧着時間を 180 s、離型温度を 150°C とし、接合温度を 240°C、260°C、280°C、300°C および 320°C の 5 条件とし、接合圧力は 0.6 MPa、3.8 MPa および 7 MPa の 3 条件とした。また表面テクスチャ付与加工は、2 種類のくぼみをアルミニウム表面に付与した。得られた継手の接合強度は引張せん断試験 (クロスヘッド速度: 1 mm/min, 室温) により評価した。

4. 研究成果

(1) 金属塩の生成・分解による A5052 の環境調和型真空固相接合：接合強度に及ぼす表面改質処理時間の影響を調査した。Na₂CO₃ 水溶液を用いた表面改質処理を 1~60 min 間施した後、ギ酸に 5 min 間浸漬した場合の引張試験結果を図 1 に示す。図 1 より、処理時間を 10 min とした場合、最も高い接合強度を示し、処理時間の増加に伴い接合強度が低下した。表面改質処理時間を 10 min とした場合、機械研磨のみの未処理の場合と比較すると、約 5 倍の強度が得られた。この結果より、最適な表面改質処理時間は 10 min と判断した。ここで、試薬による接合強度の比較のため、Na₂CO₃ 水溶液に比べて強いアルカリ性を示す水酸化ナトリウム (NaOH) 水溶液を用いた場合の表面改質処理時間と接合強度の関係を図 2 に示す。なお、NaOH 水溶液を用いた表面改質処理後、ギ酸に 5 min 間浸漬した。図 2 より、NaOH 水溶液を用いた表面改質処理に比べて、Na₂CO₃ 水溶液を用いた場合の処理時間は長時間になるが、ほぼ同等の接合強度が得られた。したがって、Na₂CO₃ 水溶液を用いた表面改質処理は、接合強度が得られるだけでなく、環境面においても優れていると考えられる。

図 3 に界面組織観察結果を示す。図 3 より、未処理の場合、大きな空隙が認められ、白色を呈した介在物が存在した。EDX による分析結果より、酸素が多く検出され、幅約 10 μm の厚みを有していることから、機械研磨によって生じた酸化皮膜を含む加工層であるとされる。そのため、引張試験時に容易にはく離を生じ、低い接合強度を示したものと推察される。また、表面改質処理時間を 60 min とした場合、接合界面に大きな空隙が認められた。EDX 分析結果より、この空隙は接合界面近傍に存在する Mg が接合中に MgO に成長し、接合界面に集積した痕跡と考えられる。一方、最適な処理時間であると判断した処理時間を 10 min とした場合は、接合界面が他の条件より不明瞭であり、幅 10 μm 以下の微小な空隙が認められる程度であった。これは接合界面の酸化物が少なく、接合界面を通じた原子の相互拡散が生じたため、接合界面が不明瞭に変化したものと推察される。

アルミニウムのギ酸塩の生成および分解について考察する。まず、アルミニウム表面に生成された自然酸化皮膜の主成分である酸化アルミニウム Al₂O₃ は、炭酸ナトリウム水溶液に浸漬することで、アルミン酸ナトリウム NaAlO₂ を生成し、その後水酸化アルミニウム Al(OH)₃ を生成することが知られている⁽¹⁾。さらに、水酸化アルミニウムをギ酸 (98%) に浸漬するとギ酸アルミニウム Al(OH)(HCOO)₂ あるいは Al(OH)(HCOO)₂ · 0.5 H₂O が生成することが知られている^{(2),(3)}。またギ酸塩は、200°C、270°C および 340°C 近傍で段階的に熱分解することが知られている⁽³⁾。以上のことから、Na₂CO₃ 水溶液を用いた表面改質処理とギ酸を用いた金属塩被膜処理からなる金属塩生成接合法により接合強度が向上したメカニズムは、次のようになると考えられる。初めに A5052 を Na₂CO₃ 水溶液に浸漬することで Al₂O₃ が水酸化アルミニウム Al(OH)₃ に改質される。次にギ酸に浸漬することで、Al(OH)₃ がギ酸アルミニウム Al(OH)(HCOO)₂ あるいは Al(OH)(HCOO)₂ · 0.5 H₂O に変化し、A5052 が非常に薄い金属塩被膜に覆われる。その後、接合中の加熱により段階的に金属塩被膜が熱分解され、接合界面の酸化物が減少することで A5052 母相原子面が露出し、接合界面を通じた原子の相互拡散が進行したことで、接合強度が向上したものと考えられる。

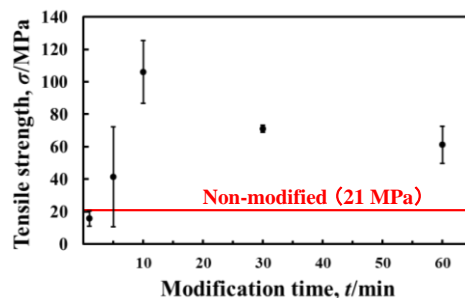


図 1 接合強度に及ぼす NaCO₃(aq.) を用いた改質処理効果

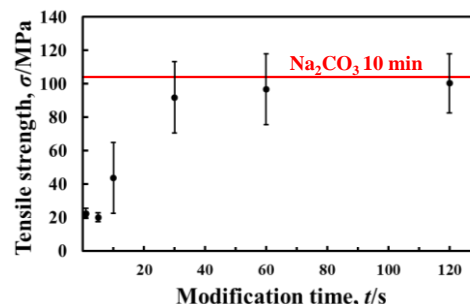


図 2 接合強度に及ぼす NaOH(aq.) を用いた改質処理効果

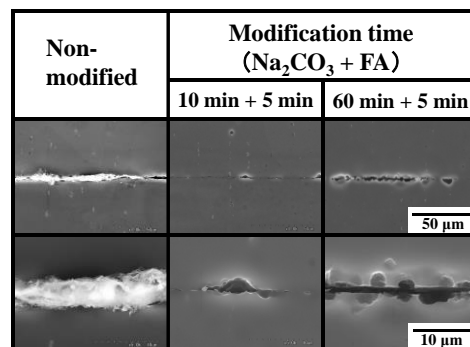


図 3 接合界面組織に及ぼす金属塩被膜処理効果

(2) A5052/ガラス繊維強化 PA66 の熱圧着強度の改善: 接合温度および接合圧力が引張せん断強度に及ぼす影響を検討するため、熱圧着時間を 180 s とし、接合温度を 240°C, 260°C, 280°C, 300°C および 320°C の 5 条件、接合圧力を 0.6 MPa, 3.8 MPa および 7.0 MPa の 3 条件に変化させ接合を行った。図 4 に示すように、いずれの接合圧力においても、接合温度の上昇に伴い引張せん断強度が上昇し、接合圧力が 0.6 MPa の場合に最も高い値を示した。この要因は、加熱により PA66 の塑性変形能が向上するが、接合圧力が高い場合は、アルミニウム表面に PA66 が残存することなく、接合部外周へ塑性流動したためであると考えられる。なお、接合温度 320°C の場合は界面で気泡を生じ、気泡を起点に母材で破壊したため、図中には示さなかった。

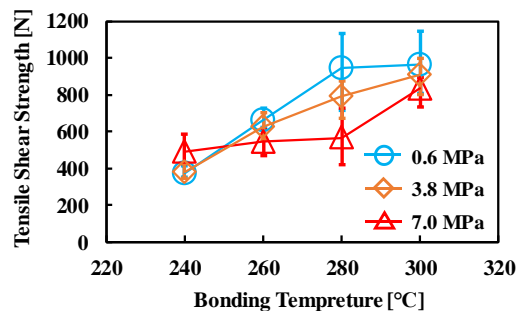


図 4 シア強度に及ぼす接合条件の影響

表面テクスチャが引張せん断強度に及ぼす影響を検討するため、熱圧着時間を 180 s とし、接合温度を 280°C および 300°C、接合圧力を 0.6 MPa, 3.8 MPa および 7 MPa に変化させ、付与する表面テクスチャ形状を図 5 に示す Type A および Type B の 2 条件とし、接合を行った。図 6 より、表面テクスチャ付与により引張せん断強度が向上し、未付与に比べ、Type B のくぼみを付与した場合は、引張せん断強度が約 100 N 向上した。図 7 に示すように、Type B のくぼみにおいて接合温度を 300°C、接合圧力を 7 MPa から 0.6 MPa に減少させた場合、くぼみ内部により多くの、ガラス繊維を含む PA66 が充填された様子が確認でき、アンカー効果がより効果的に発現したものと考えられる。また、くぼみの形状により引張せん断強度が異なることから、引張せん断強度向上に適した表面テクスチャ形状があることが示唆された。

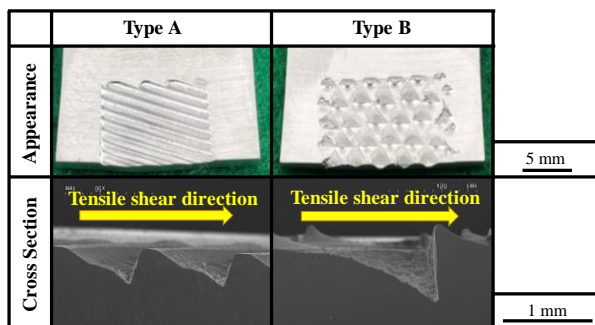


図 5 本検討で用いた表面テクスチャ形状

ガラス繊維強化 PA66 に対するギ酸による処理が引張せん断強度に及ぼす影響を検討するため、熱圧着時間を 180 s とし、接合温度を 300°C、接合圧力を 0.6 MPa とし、接合を行った。図 8 より、処理時間 60 s で最大引張せん断強度を得た。要因として、図 9 に示すように、ギ酸中でガラス繊維強化 PA66 を処理することで、表面の PA66 がギ酸中に溶出し、表面にガラス繊維が露出することが挙げられる。また、処理時間 60 s で PA66 の溶出量が最適となり、ガラス繊維がアルミニウム表面に接触し、両者間の摩擦力が増加し、さらに、ガラス繊維が接合界面近傍に近づくことで、ガラス繊維強化 PA66 全体の塑性変形が抑制された結果、引張せん断強度が向上したと考えられる。一方、処理時間が短い場合は、ギ酸中に溶出する PA66 の量が少なく、ガラス繊維の露出量が不十分となり、処理時間が長い場合は PA66

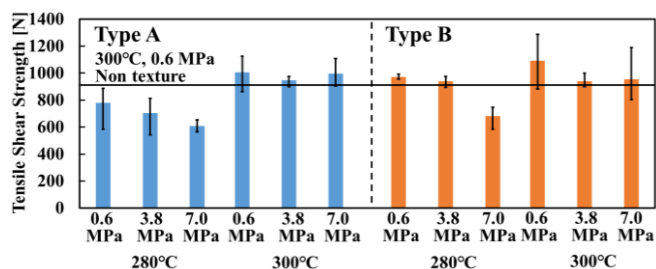


図 6 シア強度に及ぼす表面テクスチャ形状と接合温度および接合圧力の影響

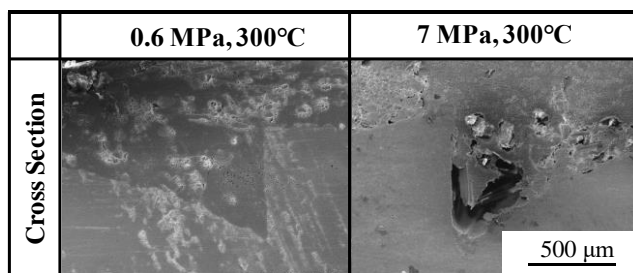


図 7 接合界面近傍の拡大観察 (上部: ガラス繊維強化 PA66, 下部: A5052 アルミニウム合金)

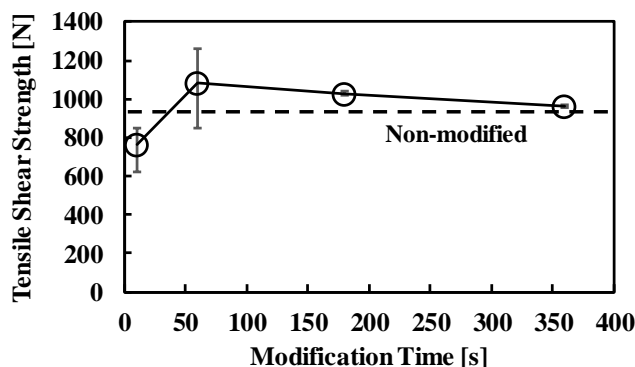


図 8 シア強度に及ぼすギ酸への浸漬効果 (ガラス繊維強化 PA66 側のみを浸漬)

の過剰な溶出と同時にガラス繊維もギ酸中に脱落し、ガラス繊維強化 PA66 の接合表面粗さが増加したため、引張せん断強度が向上しなかったと推察される。

UV オゾン処理が引張せん断強度に及ぼす影響を検討するため、熱圧着時間を 180 s とし、接合温度を 300°C、接合圧力を 0.6 MPa、UV オゾン処理時間を 15 min とし、接合を行った。図 10 に示すように A5052 アルミニウム合金に対して UV オゾン処理を施した場合、引張せん断強度が向上した。要因として、UV には物質表面の汚染有機物を除去し、金属表面の濡れ性が向上することで、アルミニウムと PA66 の密着化が促進され、引張せん断強度が増加したと考えられる。一方、ガラス繊維強化 PA66 に対して UV オゾン処理を行った場合も引張せん断強度が向上した。要因として、PA66 はアミド結合の繰り返しによって構成される高分子化合物であり、酸化皮膜との親和性の高いアミド基が存在するが、UV オゾン処理を行うことで「OH, CHO, COOH」などの官能基も増加し、より水素結合の絶対量が増え、引張せん断強度が向上したと推察される。

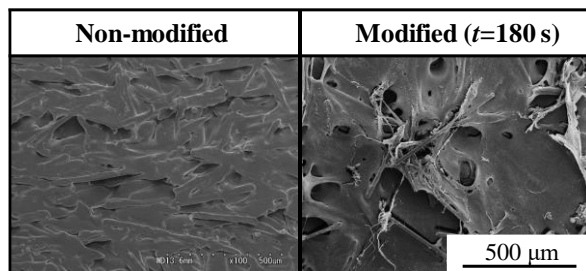


図 9 接合表面性状に及ぼすギ酸への浸漬効果 (ガラス繊維強化 PA66 側)

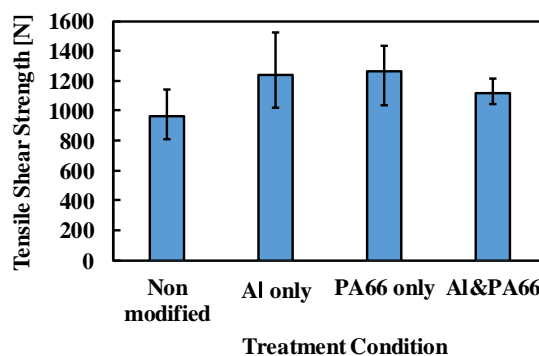


図 10 シア強度に及ぼす UV オゾン処理の影響

<引用文献>

- (1) Shakila, B. et al., Preparation of Aluminum Hydroxide from Bauxite with Alkaline Additives, J. Chem. Soc. Pak., Vol. 34, No. 1, (2012), pp. 76-80.
- (2) Sato, T., Aluminium Hydroxides and Aluminas, JOURNAL OF THE MINERALOGICAL SOCIETY OF JAPAN, Vol. 19, No. 1, (1989), pp. 21-41.
- (3) Yin, L. et al., Yttrium Aluminum Garnet Fibers from Metalloorganic Precursors, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 81, No.3, (1998), pp. 629-645.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Koyama Shinji、Shohji Ikuo、Muraoka Takako	4. 巻 63
2. 論文標題 Low Temperature Solid-State Bonding of Nickel and Tin with Formic Acid Surface Modifications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 813 ~ 820
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.MT-MC2022007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Koyama Shinji、Shohji Ikuo、Muraoka Takako	4. 巻 63
2. 論文標題 Solid State Bonding of Tin and Copper by Metal Salt Generation Bonding Technique Using Citric Acid	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 987 ~ 992
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.MT-MC2022014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 小山 真司、荒井 悠平、村岡 貴子	4. 巻 61
2. 論文標題 ギ酸塩被膜付与Cuナノ粒子を用いたCu固相接合条件の緩和	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 銅と銅合金	6. 最初と最後の頁 240 ~ 243
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34562/jic.61.1_240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 小山 真司、武智 正登、村岡 貴子	4. 巻 61
2. 論文標題 ギ酸塩の生成・分解反応を利用したクロム銅の固相拡散接合	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 銅と銅合金	6. 最初と最後の頁 264 ~ 267
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34562/jic.61.1_264	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 小山 真司、鈴木 宏和、田部井 由香里、谷澤 秀和、岩淵 昭夫	4. 巻 61
2. 論文標題 金属塩生成接合法を用いたパルスヒート援用Cu/Cu接合の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 銅と銅合金	6. 最初と最後の頁 244 ~ 247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34562/jic.61.1_244	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計15件(うち招待講演 2件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 尾内茂徳, 小山真司
2. 発表標題 A6061 の接合強度改善に向けた環境調和型表面改質処理
3. 学会等名 日本機械学会 2022年 茨城講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 武智正登, 小山真司
2. 発表標題 レーザーアブレーション表面微細形状付与によるSPCC/ガラス繊維強化PPSの熱圧着強度の向上
3. 学会等名 溶接学会 2022年度秋季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山真司, 藤森裕介
2. 発表標題 A7075の液相拡散接合におけるZnシートのクエン酸塩被膜処理効果と純度の影響
3. 学会等名 溶接学会 2022年度秋季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾内茂徳, 小山真司
2. 発表標題 6061アルミニウム合金の接合強度に及ぼす環境調和型金属塩被膜処理の影響
3. 学会等名 軽金属学会 第143回秋期大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山真司, 鶴岡茂樹, 北森龍之介, 奥脇三男
2. 発表標題 金属塩生成接合法によるA5052/SUS316Lの真空固相接合
3. 学会等名 シンポジウムMate2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小山真司
2. 発表標題 クエン酸は金属の洗浄でも大活躍
3. 学会等名 東北大学知の創出センター市民フォーラム「航空機を安全かつ軽量にするための材料・技術に関するおはなし」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋朋之, 小山真司, 伊藤正敏, 浅野隼人
2. 発表標題 アルミニウムのフラックスレス液相拡散接合
3. 学会等名 日本金属学会 2021年秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武智正登, 小山真司
2. 発表標題 ギ酸塩の生成・分解反応を利用したクロム銅の固相拡散接合
3. 学会等名 日本銅学会 第61回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木宏和, 小山真司, 田部井由香里, 谷澤秀和, 岩淵昭夫
2. 発表標題 金属塩生成接合法を用いたパルスヒート援用Cu/Cu接合の検討
3. 学会等名 日本銅学会 第61回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山真司, 荒井悠平
2. 発表標題 ギ酸塩被膜付与 Cu ナノ粒子を用いたCu 固相接合条件の緩和
3. 学会等名 日本銅学会 第61回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山真司
2. 発表標題 各種アルミニウム合金のフラックスレス液相拡散接合
3. 学会等名 第118回界面接合研究委員会・2021年度第2回日本溶接協会先端材料接合委員会合同委員会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川友博, 小山真司, 鶴岡茂樹, 北森龍之介, 奥脇三男
2. 発表標題 A5052/SUS316Lの固相接合界面特性に及ぼすギ酸塩被膜処理と接合表面性状の影響
3. 学会等名 スマートプロセス学会 2020年度学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山坂健登, 小山真司
2. 発表標題 電気アシスト接合法を用いたA1070/C1020固相接合における通電電流の影響
3. 学会等名 スマートプロセス学会 2020年度学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠原勇人, 小山真司
2. 発表標題 接合プロセス簡略化に向けたAl合金接合法の検討
3. 学会等名 日本機械学会群馬ブロック 研究・技術交流会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠原勇人, 小山真司
2. 発表標題 ギ酸塩被膜付与Znシートを用いたAl合金の溶体化処理温度での接合
3. 学会等名 シンポジウムMate2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 小山真司	4. 発行年 2022年
2. 出版社 ボイラ・クレーン安全協会	5. 総ページ数 6
3. 書名 ボイラー・クレーン・溶接のjitsu・ten : 実務&展望	

1. 著者名 執筆者：57名、技術情報協会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 558
3. 書名 金属ナノ粒子、微粒子の合成、調製と最新応用技術	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	荘司 郁夫 (Shohji Ikuo) (00323329)	群馬大学・大学院理工学府・教授 (12301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------