

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18870

研究課題名（和文）特殊金属/合金マイクロマシンの創成

研究課題名（英文）Creation of special metal/alloy micromachines

研究代表者

安部 隆（Abe, Takashi）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：00333857

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、特殊金属製マイクロマシンの創成に向けた、総合的な微細加工プロセスの開発を進めた。例えば、チタンに対応した箔のような薄板でも反らない絶縁膜プロセス、用途に合わせた電解エッチングプロセス、微小構造体を作製する二重層プロセスなどの基本技術を開発した。また、フッ素樹脂との接合技術など、耐食性を活かした特種用途を想定した技術開発にも成功した。さらに、開発した技術を用いて、対象に貼って使用するチタン製フレキシブルフォースセンサ、カンチレバーやダイヤフラムの作製、マイクロサージェリー用メスやニードル、マイクロ電解電極などの新しいセンサ・デバイスの創成にも挑戦した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロマシン技術はセンサ・デバイス小型化の基盤技術として広く使用されている。今後、さらに、新しい需要や用途に対してもその可能性を拡大していく鍵となるのは多様な材料を取り入れることである。チタンやモリブデンなどの特殊金属には、耐久性などの観点で、特色があり、これらの材料に対応したマイクロマシン技術の実現により、新たな特色を取り込んだマイクロマシンの登場が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have developed a comprehensive microfabrication process to create micromachines made of special metals. For example, we have developed basic technologies such as an insulating film process that does not warp even in thin titanium plate, an electrolytic etching process tailored to the application, and a double-layer process to create microstructures. We have also succeeded in developing technologies for special applications that take advantage of the corrosion resistance of titanium, such as a bonding technology with fluoropolymers. Furthermore, using the developed technologies, we have succeeded in prototyping new sensor devices such as flexible titanium force sensors that are attached to targets, cantilevers and diaphragms, scalpels and needles for microsurgery, and microelectrolytic electrodes.

研究分野：センサ・マイクロマシン

キーワード：MEMS 特殊金属 マイクロマシン チタン 微細加工技術 電解エッチング 耐久性向上

1. 研究開始当初の背景

微小電気機械システム (Micro Electro Mechanical Systems : MEMS) を生産するための基盤加工技術の開発は、1960 年代の湿式異方性エッチングによるバルク加工技術や陽極接合技術にまで遡ることができる。90 年代になると、深掘り反応性イオンエッチング (Deep Reactive Ion Etching : DRIE) が発明され、加工自由度が飛躍的に高くなるとともに、加工装置の市販化も進み、MEMS センサデバイスの実用化が格段に進んできた。一方、用途拡大とともに、特殊用途における Si の脆弱性の課題も見えてきた。特に機械的な衝撃が加わるような用途には不適である。我々は、特殊金属に関する前プロジェクトで、熱アシスト型反応性イオンエッチング (Thermally-assisted Reactive Ion Etching : TRIE) と呼ぶ新しい DRIE 技術を開発し、従来の 5 倍以上の加工速度で Ti 等の特殊金属のマイクロマシニングを可能とした。現在、電解エッチングなどの研究者のアクセスの良い技術も含めた総合的なチタンマイクロマシニング技術の確立を目指している。本報では、チタンマイクロマシニングに関する研究成果を報告する。

2. 研究の目的

本研究では、「特殊金属/合金マイクロマシンの創成」を目指した。特殊金属の個性である、フレキシブルさを備え、鋼球や爆風の衝撃や高温に耐える機械的耐久性、その場で、水素、酸素ガスを長期間生成できる化学的耐久性など、格段の性能を有するマイクロマシン (センサ・デバイス) の実現に向けて要素技術の開発に挑戦した。研究期間中に、開発した特殊金属/合金用マイクロマシニング技術を用いてセンサ・デバイスの実証試験と生産技術の検証を実施し、当該分野の萌芽を目指した。

3. 研究の方法

3.1 チタンのドライおよびウェットエッチング加工

シリコンマイクロマシニングでは、ウェットエッチング技術の開発が、DRIE 技術の中核とするドライエッチング技術に先んじて進んだ。ウェットエッチングとドライエッチングの技術の長所を組み合わせると、より加工の自由度が向上すると期待される。

チタンマイクロマシニングにおいても RIE 法だけでなく電解エッチング法を取り入れることで高アスペクト比構造と曲面が融合した立体形状が可能となり、加工自由度の向上が期待される。Ti の電解エッチング法では、様々な電解液が使用されているが、出口らにより報告されている劇物を使用しない電解液 (エチレングリコール-塩化ナトリウム) を用いた方法が安全面から有効である。そこで、本研究室で開発した TRIE 法と上記の電解エッチング法を組み合わせた場合の表面性状 (組成、表面粗さ) を EDX と走査型電子顕微鏡を用いて評価した。

3.2 電解エッチング加工条件と加工形状評価

電解液としてエタノールと塩化ナトリウムの混合溶液 (EG-NaCl) またはエタノールを入れた EG-NaCl 溶液を使用した。表 1 に条件をまとめた。

電源装置 (Model 2.401 Low-Voltage Source Meter, Keithley) を用いて 20 V の定電圧を印加して電解エッチングを行った。攪拌装置はマグネティックスターラー (HS-5BHSD、アズワン) あるいはパドル式攪拌機 (パドルカソードロッカー-200BWA、山本鍍金試験機) を用いて、攪拌を行った。電解加工中では、金属基板表面に抵抗として電解エッチングの加工速度を下げる反応生成物の皮膜が生成される。一方、皮膜は加工表面を平滑にする効果があり、攪拌操作で皮膜の厚さを調整し維持することが重要になる。そこで、攪拌法にも着目した。室温環境下で、一定電圧 20 V、最大 1 A 電流の条件を設定し、1 分間通電後 1 分間攪拌を繰り返す操作を実施した。電解エッチングに影響を与える因子を考慮し、加工結果を改良するために、表 1 に示すように様々な条件を組み合わせ電解エッチングを行った。電解液温度 (T) は、室温あるいはホットスターラーを用いて 60、70 °C に精度 ±1 °C で設定した。通電時間と攪拌時間は、5 s、15 s、60 s、120 s に設定した。エタノール濃度 (C_E) は、0 vol %、20 vol % に設定した。エタノールの添加は加工表面を平らにす

表 1 電解エッチング条件

	T (°C)	Energization time per phase (s)	Agitation time per phase (s)	C _E (vol%)	On/off-time (ms)
Previous study	R.T.	60	60	0	0
Process No.1	R.T.	120	60	0	0
Process No.2	R.T.	15	15	0	0
Process No.3	70	5	5	0	500
Process No.4	70	5	5	0	100
Process No.5	70	5	5	20	500
Process No.6	70	5	5	20	100
Process No.7	60	5	5	20	500
Process No.8	60	5	5	20	100

る効果がある。通電の際に、直流電源とパルス電界も使用した。直流電源では、最大 1 A とした。パルス電界エッチングは、電界がオンの状態に、電流値は 1 A、オフの状態に、電流値は -54 mA に設定し、時間間隔を 100 ms、500 ms に設定した。通電時間と攪拌時間は 5 s に保持した。

3.3 絶縁膜形成プロセス

本研究では、MOD (Metal Organic Decomposition)法を用いて、アルミナ絶縁層の成膜を行った。まず、絶縁層の材料として Al_2O_3 膜用ディップコート剤(AL-03-P、高純度化学研究所)を厚さ 10 μm のチタン箔上に塗布して、スピスコータにより 5000 rpm、20 秒間スピスコートした。その後、恒温炉(ST-110、エスペック)で 200 $^{\circ}C$ 、10 分乾燥させ、溶媒を除去した。以上の成膜とポストバーク工程を 3 回繰り返し、膜厚を厚くして絶縁性を確保した。最後に、チタン箔を恒温炉(KDF-S70、デンケン)に入れ、4.1 $^{\circ}C/min$ で室温から 500 $^{\circ}C$ まで 2 時間かけて上昇させ、1 時間保持し、焼成した。その後、自然冷却によって室温まで下げ、アルミナの全部の成膜プロセスが終了する。アルミナ絶縁層の成膜時には、チタン基板と絶縁層の異なる熱膨張係数によってチタン基板の反りが発生する問題がある。表面粗さ測定機(SJ-410、ミツトヨ)を用いて、絶縁層を成膜したチタン基板の反りの評価を行った。評価にはうねりの値(Wa)を用いた。

3.4 センサ・デバイスの創成

センサ・デバイスの試作では、(1)フレキシブルフォースセンサの試作、(2)基本構造であるダイヤフラム、カンチレバー作製工程の開発、(3)マイクロサージェリ用メスやニードルの開発および(4)マイクロ電解デバイス用電極の開発をおこなった。

(1) フレキシブルフォースセンサの試作

チタンおよびその合金は、機械的耐久性、耐食性が高いために、フレキシブルでタフなセンサデバイス、医療用途や電気化学デバイスなどへの応用が期待される。本研究では、フィルム状に加工した Ti 製フォースセンサを作製した。厚さは 50 μm の純 Ti 板を使用した。まず、アルミナ薄膜を前述の MOD 法を用いて成膜した。次に、スパッタリングにより、Ni-Cr と Au の薄膜を成膜し、フォトリソグラフィにより歪みゲージのパターニングを行った。最後に、フォトレジストをマスクとして前述の電解エッチングにより貫通加工することで、Ti フィルム製フォースセンサを作製した。電解エッチング法ではフィルムをガラスに固定することで貫通したことを目視で判定できた。

(2) ダイヤフラム、カンチレバー作製工程

図 1 に二重マスク法を示す。複雑な溝構造を持つチタン製微小構造体を作るために、アルミナ成膜と電解エッチングプロセスによる二重マスク法を利用した。まず、レジストをパターンニングしたチタン箔に直流電源で電解エッチングを行った。次に、レジスト層を除去し、あらかじめパターンニングしたアルミナ絶縁層を有するチタン箔のパルス電解エッチングを行った。アルミナ絶縁層は 10 %HF でパターンニングした。二回目の電解エッチングでは、段差構造が形成された。

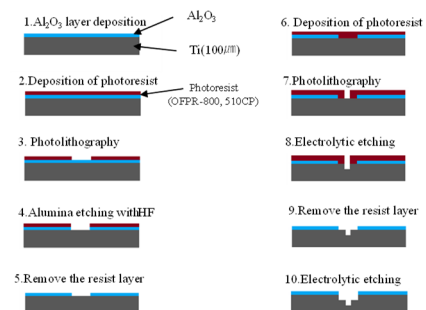


図 1 二重マスク法

(3) マイクロサージェリー用メス、ニードル

マイクロサージェリーを想定したメス、ニードルの研究は、シリコンマイクロマシンの時代から行われてきた。破損や加工性の課題から、一般的な機械技術による金属の微細加工が主流である。我々は、チタン、チタン合金の破損しても断片が飛び散ることがない材料の長所を生かしたマイクロマシン技術の導入を進めている。上述の用途では、断面形状が重要である。メスの切開工程は、穿孔工程とスライス工程からなる。前者は、材料力学的、後者は、トライボロジック的視点が重要であり、幾何形状の影響を受ける。

申請研究では、断面形状の調整のために、金箔膜を導入するプロセスを工程しアンダカットの調整をおこなった。

(4) マイクロ電解デバイス用電極

電解用電極では、ガスがある気相、電解液がある液相、電極がある固相の 3 相界面を有する微小空間を実現することが重要である。チタン製電極は電気化学的耐久性から固相の材料として適している。気相はフッ素樹脂が適しているが、チタンとの密着性に課題がある。そこで、フッ素樹脂 (PTFE、ETFE) との接合と電極の微細加工を組み合わせた加工プロセスの開発を実施した。

4 . 研究成果

4.1 チタンのドライおよびウェットエッチング加工

電解エッチングでは、エタノールを添加することで、エッチファクターの低下と鏡面加工が実現する。しかし、アスペクトの低下を伴うために、ドライエッチングとの組み合わせが望ましい。

通常の RIE で加工した後に電解エッチング加工した場合は、加工速度差が発生し凹凸が形成されることがわかっている。凹凸変化は酸素元素分布と一致していることが EDX 分析からわかっている。我々が開発した TRIE 法では表面が反応生成物であるフッ化物で覆われ酸化が防止されるため、次の工程の電解エッチングプロセスで鏡面を得ることが可能であることが示された。

4.2 電解エッチング加工条件と加工形状評価

電解液温度、攪拌時間、通電時間、エタノールの濃度、パルス電界を変更することにより、先行研究の電解エッチングプロセスを改良した。先行研究の方法では、平均加工速度は $0.4 \mu\text{m}/\text{min}$ であり、エッチファクタは $1.0 \sim 1.5$ と等方的加工であった。以上の結果から、1 分間の通電で生じた反応生成膜が、その後の 1 分間の攪拌により完全に除去できているため、加工速度は加工深さに関係していないことが分かった。図 2(a)の断面形状から加工された溝の側壁は垂直ではなく、溝底面は平坦ではなかったことが分かる。

表 2 からプロセス条件 No.1 で 1 回の攪拌時間と通電時間が長くなり、エッチファクタが保持し、加工精度が向上した。No.2 では減少された攪拌時間と通電時間により、エッチファクタが向上したが、精度が悪化した。No.1、No.2 の条件で加工された断面形状を図 2(b)、(c)に示す。加工後の溝の側壁は傾斜を有し、底面は平坦ではなかった。

表 2 改良した電解エッチングの結果

	Average depth (μm)	Under cut (μm)	Etch factor	Accuracy (%)	Processing speed ($\mu\text{m}/\text{min}$)
Previous study(a)	64.2	50.7	1.2	± 8.9	0.4
Process No.1(b)	65.5	51.7	1.2	± 6.0	0.5
Process No.2(c)	46.7	29.8	1.6	± 20.5	0.4
Process No.3(d)	51.7	45.4	1.2	± 12.0	5.2
Process No.4(e)	50.8	16.6	1.5	± 16.8	5.1
Process No.5(f)	75.6	44.9	1.7	± 11.0	5.4
Process No.6(g)	41.0	23.9	1.8	± 6.7	5.9
Process No.7(h)	64.3	32.0	2.0	± 10.2	4.6
Process No.8(i)	67.8	45.3	1.5	± 6.1	4.5

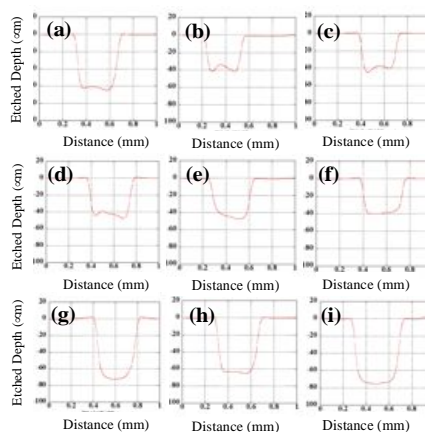


図 2 電解エッチング条件と加工後のプロファイルの比較結果

そこで、パルス波形の電流を流す時間とエタノールの濃度を調整した。電流値は -54 mA の際に ($T_{\text{off-time}}$) 拡散層および反応生成膜は拡散により薄くなり、電流値は 1 A の際に ($T_{\text{on-time}}$) で電界集中を起こし、凸部への集中的なエッチングで溝底面は平坦化される。以上のことより、良質な生成膜が得られることが知られている。パルス周期は反応生成膜の粘度と関連するため、No.3、No.4 では温度をエタノールの沸点以下の 70°C に設定して、 $T_{\text{on-time}}$ および $T_{\text{off-time}}$ の時間を 500 ms と 100 ms にしたパルス波形の電流で電解エッチングを行ったが、溝側壁の状態はパルス波形の電流がないプロセスの結果とほぼ同じく傾斜角度がより高くなった。次に、No.5、No.6 では同じ通電時間と攪拌時間で濃度 $20 \text{ vol}\%$ のエタノールを含む電解液を使い、電解エッチングを行った。溝底面はより平坦であり、溝側壁の傾斜角度がより低くなった。表 2 からパルス波形の電流で加工速度が速くなったことがわかる。図 2(d) ~ (g)に No.3、No.4、No.5 および No.6 の加工結果を各々示す。図 2(h)、(i)は温度を低下させたものであるが同様の傾向が見られた。

4.3 絶縁膜形成プロセス

まず、比較として、先行研究の作製手法で、厚さ $10 \mu\text{m}$ のチタン箔上にアルミナ絶縁層を成膜した。図 3 にアルミナ絶縁層を成膜した結果を示す。図に示すようにうねり (Wa) は大きく $33 \pm 27 \mu\text{m}$ となった。基板と絶縁層の材料には熱膨張係数差があり、 500°C まで加熱した際には、チタン箔とアルミナ絶縁層の伸び量の差が大きくなり、反りが発生したと考えられる。本研究では、基板反りの発生を避けるために、ガラス(ショット日本株式会社)板を挟み込むサンドウィッチ法により、解決を試みた。チタン箔を仮固定させることで、平坦化させ、基板の変形を防ぎ、均一な膜を形成できる。裏面に対しては絶

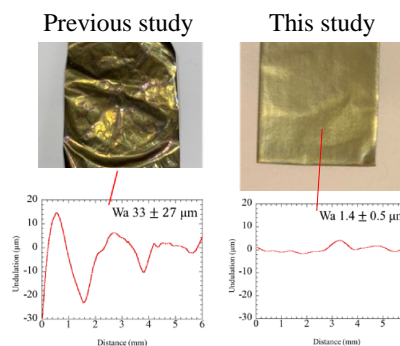


図 3 チタンフィルム上絶縁膜形成結果

縁層を成膜し、両面をガラスで挟み込んで固定し、平坦化した状態で焼結する。この際、ガラスの重さが基板の上面に加わっており、チタン箔とアルミナ絶縁層の伸縮方向が制限されているため反りが発生しなかったと考えられる。この改良した方法では $1.4 \pm 0.5 \mu\text{m}$ (Wa) に改善された。本研究で開発したプロセスで作製された絶縁層の反りは、少なくとも約 20 分の 1 以下に改善されたことが分かった。なお、加工前のチタン箔の反りよりも改善されていることが分かった。

4.4 センサ・デバイス試作の創成

(1) フレキシブルフォースセンサの試作

図 4, 5 に作製したフォースセンサと評価結果を各々示す。感度は、 -35 ppm/N 、非直線性は 5.0%、ヒステリシスは 4.9% となった。クリープ率に関しては 1.6% で一定荷重を印加し続けている際の安定性に優れていた。繰り返し誤差 (5 回の平均値) は 3.0% で十分に高いセンサ応答の再現性を得た。上記の性能はエラストマー埋め込み型 Si 製フォースセンサとほぼ同等であった。

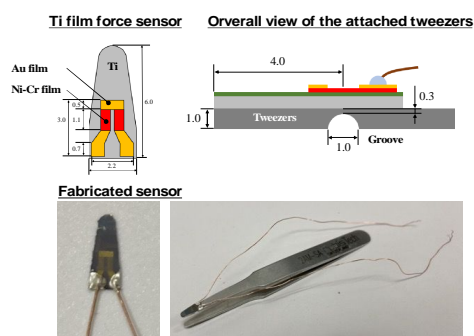


図 4 作製したフォースセンサ

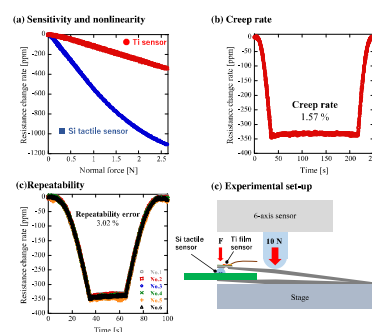


図 5 評価結果

(2) ダイアフラム、カンチレバー作製工程

図 6 に段差形状を有するチタン製ダイアフラムの作製例を示す。本法で、カンチレバーの作製にも成功している。カンチレバーの作製では、根本部分に溝構造を作製することで折り曲げやすくなり、面内、面外力の検出用途への応用が期待される。

(3) マイクロサージェリー用メス、ニードル

金箔膜を導入するプロセスを工程しアンダカットの調整をおこなった。図 7 に示すように特徴的なアンダーカットにすることに成功し、実際に、眼科用マイクロメスを作製した。評価も行き、切開力の大幅な低下に成功した。

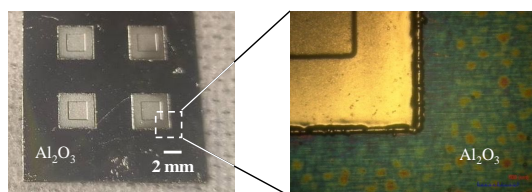


図 6 段差形状を有するチタン製ダイアフラム

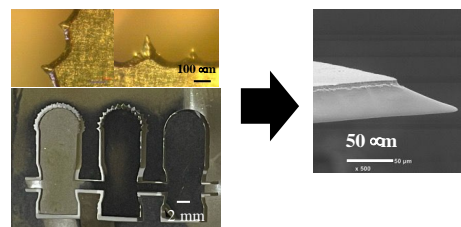


図 7 新技術で作製したマイクロメス

(4) マイクロ電解デバイス用電極

チタン表面処理条件とフッ素樹脂との接合力との関係性を評価した。サンドブラスト処理やマイクロポスト形成をしたチタン板は凝集/材料破壊を示し接着力の向上に成功した。フッ素樹脂は ETFE の方が接着性に優れていた。図 8 にその結果を示す。微細構造を作製するとアンカー効果により、チタン板側が破断するほどの強度を示した。次に、図 9 に示すフッ素樹脂と接合した微小流路と集積化したチタン製マイクロ電解用電極を試作した。電解による酸素、水素ガス生成、分離を確認したが、ガスが滞留するなどの課題があり、流路の改良が必要である。

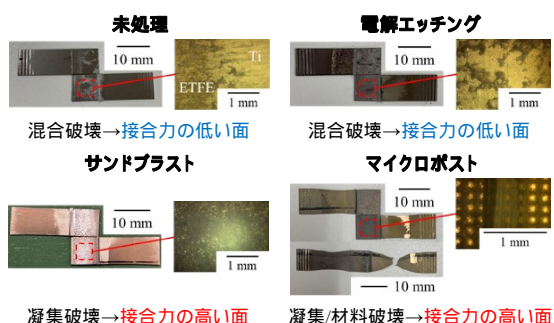


図 8 表面処理による接合の違い

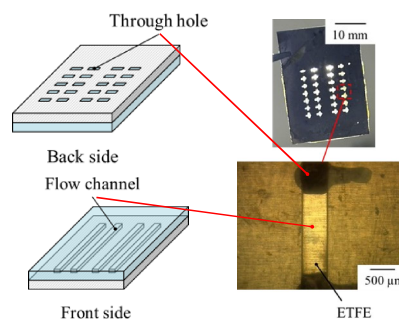


図 9 マイクロ電解用電極

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Chino Teruya, Watanabe Yuta, Yosuke Tsukiyama, Masayoshi Sohigawa, Takashi Abe	4. 巻 104
2. 論文標題 Development of dry nano polishing technique using reactive ion etching for ultra thin titanium wafer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electronics and Communications in Japan	6. 最初と最後の頁 e12317
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ecj.12317	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 Masamune Kurita, Yuki Takizawa, Masayuki Sohigawa, Takashi Abe	4. 巻 144
2. 論文標題 Titanium Blade with Jagged Micro-scale Structure Fabricated via Electrolytic Etching	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 2-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejsmas.144.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 安部 隆	4. 巻 71
2. 論文標題 チタンマイクロマシニング技術とその可能性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 チタン	6. 最初と最後の頁 310-315
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 新保 元哉, 佐々木 朋裕, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 表面微細構造を利用したフッ素樹脂接合チタンウェハの開発
3. 学会等名 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム（日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門大会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大石 恭徳, 佐々木 朋祐, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 電解エッチング法によるTi 系材料の微細構造形成と強度評価
3. 学会等名 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム (日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 海野 一真, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 チタン箔ベースMEMS のための生産プロセスの開発
3. 学会等名 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム (日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中井 遥介, 安部 隆, 寒川 雅之
2. 発表標題 有限要素法によるTi 製MEMS 圧力センサの感度解析
3. 学会等名 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム (日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村 哲登, 渡邊 悠太, 千野 輝弥, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 反応性イオンエッチングと電解加工による チタンウェハの微細加工プロセスの開発
3. 学会等名 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム (日本機械学会マイクロ・ナノ工学部門大会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 海野 一真, 野澤慎児, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 マイクロ 鉗子・メス 用チタン箔ベースカセンサの開発
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊 悠太, 月山 陽介, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 反応性イオンエッチング技術を用いたAl ₂ O ₃ 絶縁層を有するTiウエハの鏡面加工プロセス
3. 学会等名 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗田 政宗, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 電解エッチング法を用いた微細構造を有するチタン製マイクロメスの開発
3. 学会等名 第38回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土田 和弥, 長谷川 穂高, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 T01ウエハの層間膜の膜厚調整技術の開発
3. 学会等名 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秦 夷之, 海野一真, 大石恭徳, 寒川雅之, 安部 隆
2. 発表標題 二重マスクを用いた弾性的異方性を有するチタン箔の作製
3. 学会等名 令和6年電気学会全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 滝澤 勇貴, 栗田 政宗, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 電解エッチング法を用いたチタン製マイクロメスの刃先形状の制御
3. 学会等名 第40回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大石 恭徳, 西村 哲登, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 鏡面加工が可能なチタン製マイクロ構造形成プロセスの開発
3. 学会等名 第14回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋爪 紀人, 大石 恭徳, 寒川 雅之, 安部 隆
2. 発表標題 電解エッチング法によるモリブデンマイクロマシニング技術の開発
3. 学会等名 日本機械学会2023年度年次大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

微細加工技術に関する分野における長らくの研究貢献に対して、日本機械学会マイクロナノ工学部門より貢献表彰を授与された。

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------