

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06860

研究課題名(和文) 導通部・絶縁部が共存するガラス/ガラス陽極接合界面の作成方法の開発

研究課題名(英文) Development of a method to produce glass-to-glass anodically-bonded interfaces in which conductive parts and insulating parts co-exist

研究代表者

高橋 誠 (Takahashi, Makoto)

大阪大学・接合科学研究所・講師

研究者番号：10294133

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ガラス同士の陽極接合では従来、接合界面全体に接合を仲立ちする導体層が残存していたため界面全体が電氣的に短絡状態であり、また光に対して不透明であった。本研究では仲立ちの導体層の酸化を場所ごとに制御することで、陽極接合界面に未酸化の導体層が残存した部分と、導体層が完全に酸化されて消滅した部分の作り分けを実現した。導体層が完全に酸化された界面は電氣的に絶縁となり光を透過するようになるので、これによって陽極接合界面に電氣的に絶縁性の部分と導通性の部分を作って回路パターンを作製すること、また光を透過する部分と遮る部分を作り分けることが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

陽極接合で作製したガラスの封止体中に外部から電気回路を接続する場合、従来はガラスに穴を開けてそこに電極を通す必要があった。本研究で開発した手法を用いれば封止体の組立中に陽極接合する界面に配線パターンを通すことが可能になり、製造工程を簡略化できる。また本研究で開発した、ガラス同士の陽極接合を両側のガラスに仲立ちの導体層を施して行う方法や3枚以上のガラス板を陽極接合で貼り合わせる方法は、それぞれガラス同士の陽極接合界面の高機能化と、陽極接合による複雑なガラスの構造体の組立を可能にする。微小片持ち梁の曲げ試験による接合界面の接合強さの定量評価法は、陽極接合界面の強さの支配因子の解明に役立つ。

研究成果の概要(英文)：In glass-to-glass anodically-bonded joints, conductor layers that were mediated bonding between glasses remain at the joint interfaces. Because of presence of these layers, entire joint interfaces were electrically short-circuited, and do not transmit light. In this study, by controlling oxidation of intermediate conductor layers at each location, it was made to possible to separate the portions where the unoxidized conductor layers remained from the portions where the layers were completely oxidized on the joint interfaces. Since the interface where the conductor layer is completely oxidized becomes electrically insulating and allows light to pass through, this made it possible to form electrically insulating portions and conductive portions at the same joint interface to form circuit patterns, and to separately form light transmitting portions and light shielding portions.

研究分野：電子顕微鏡、材料組織、材料加工

キーワード：接合界面の機能化 陽極接合 陽極酸化 界面微細組織 電流経路形成 微小力学試験

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

陽極接合は、ガラスと導体材料を接触させ、導体側を陽極、ガラス側を陰極として両者の間に電圧を加えることで接合を行う方法である。陽極接合は、接合温度が 300 °C~400 °C 程度と比較的低く、また接合する導体とガラスがクーロン力で密着するため接合中に材料に外力を加える必要がないので継手の変形がほとんど生じない。このためガラスと半導体の精密接合に広く応用されており、また、ガラス/導体/ガラスのサンドイッチ構造にすることで、導体を仲立ちとしてガラス同士を貼り合わせることもできる。

通常、ガラス同士を貼り合わせる陽極接合には比較的厚い導体層が接合の仲立ちに用いられる。その場合、接合後に未酸化の導体層が残存するので継手界面はその全体が導通性を示し、また可視光を透過しない。しかし本研究以前に行った研究で、仲立ちの導体層を薄くして接合中の電圧印加を長時間行うと導体層はほぼ全てが酸化されて消尽し、それに伴って接合界面が可視光を透過するようになること、またそのような条件の接合では、電圧印加開始後ある程度の時間が経過するとガラスを流れる電流が急激に減少して、その後はほとんど電流が流れなくなることが見出された。この電流の急減は、酸化による導体層の消尽に伴って接合界面の導通性が失われ、ガラスへの電流経路が失われたことを示しているものと考えられた。

そこでその結果からさらに進んで、接合を仲立ちする導体層に酸化による消尽が速やかに生じる部分と起きにくい部分を設けてやれば、ガラス同士の陽極接合において接合後の継手界面に、導通性に乏しく光を透過しやすい部分と、導体層が残存して高い導通性と光への不透過性を持つ部分を作り分け、継手界面上に選択的に電流パスを形成することが可能になるだろうと考えた。

2. 研究の目的

導体薄膜を仲立ちとしたガラス同士の陽極接合界面上に、仲立ちの導体層が接合中にガラスから供給される O_2 イオンによって完全に酸化される部分と未酸化の導体層が残存する部分を作り分ける方法を見出す。それによって、従来のガラス同士の陽極接合では接合界面全体に導体が残存し短絡状態となるため不可能であった、接合界面上のお互いに絶縁した配線パターンを形成を可能にし、また界面上に部分的に光を透過する部分と遮る部分を作り出す。

3. 研究の方法

- (1) ガラス同士の陽極接合界面上に、仲立ちの導体層が未酸化で残存する部分と接合中の酸化によって完全に消尽する部分を作り分ける方法を検討する。
- (2) ガラス同士の陽極接合において、仲立ちとなる導体層の接合中の酸化による消尽に伴う接合界面の導電率と光透過率の変化を検証する。導電率は電気抵抗測定で、光透過率の測定は白色光に対して行い、接合界面の微細組織観察で検証した導体層の酸化の進行と対照する。
- (3) (1)の目的を達するために開発した手法で接合した界面の健全性を検証する。これには、研究成果の(6)で述べる、FIB装置を用いた微小片持ち梁の曲げ試験を用いた。
- (4) (1)で開発した手法を用いて、ガラス同士の陽極接合界面上に互いに絶縁した電流経路を作製する。そして、陽極接合界面を通して形成した配線パターンで内側と外側が電気的に接続されたガラスの封止体を実際に製作する。

4. 研究成果

- (1) 導体層を仲立ちとしたガラス同士の陽極接合で、仲立ちの導体層の厚さを部分的に変化させて接合後の界面に導体層が残存した部分と接合中の酸化で完全に消尽した部分を作り分ける方法の検討

陽極接合するソーダライムガラス板の接合面の一部に RF スパッタによってチタン層を製膜し、さらに同じ面全体に薄いチタン層を製膜して、接合面上に厚い部分と薄い部分のあるチタン層を作製した。このチタン層をはさむように同材のガラス板を重ね合わせて、チタン層を陽極、両側のガラスを陰極として電圧を加えてガラス同士の貼り合わせ陽極接合を行い、接合電圧の印加時間に対する継手界面の状態の変化を観察した。継手界面に薄い (20 nm 厚) のチタン層を施した部分では電圧印加時間に対して速やかに光透過率が上昇したのに対し、厚いチタン層 (40 nm 厚) を施した部分ではその上昇は緩やかであった。さらに厚いチタン層を施した部分では、電圧を長時間加えても光透過率の上昇は小さかった (図 1)。これは、陽極接合では接合中のガラス中のイオンの移動によって接合界面近傍のガラス中に生じる陽イオン欠乏層の成長に伴ってイオンが移動しにくくなるので、ガラス中から継手界面に供給される酸素イオンで酸化され得る導体の量に限りがあるためと考えられた。このようにして継手界面上に光透過率の高い部分と低い部分が共存するガラス同士の陽極接合継手が得られたが、継手界面のチタン層の

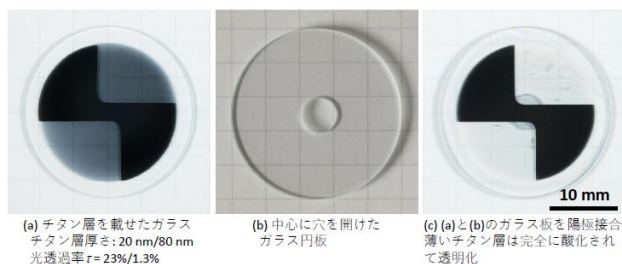


図 1 仲立ちのチタン層の厚さを部分的に変化させて作成した、ガラス同士の陽極接合継手 接合前のガラス (左、中) と接合後の継手 (右)

厚さが変わる領域を詳細に観察すると、チタン層の段差に起因するものと考えられる未接合部が残存しているのが見いだされた。チタンを製膜していないガラスとチタン層の接合をより強固にして未接合部をなくすために、電圧印加をチタン層とチタン未製膜のガラスの間のみに対して行う接合を試みた。この方法で、チタン層の厚さが変わる領域に未接合部が見られない継手を得ることができた。

(2) ガラス同士の陽極接合で接合を仲立ちする導体層の接合中の酸化の進行に伴う、接合界面の導電率の変化の検討

接合面に接合を仲立ちする導体層としてチタン層、アルミニウム層を製膜したソーダライムガラス板に同材のガラス板を重ね合わせ、アルミニウム層を陽極、両側のガラス板を陰極として電圧を印加して得た陽極接合継手界面に残った導体層の導電率と接合界面の光透過率の、最初に製膜した導体層の厚さ、接合時の電圧印加時間による変化を観察した。薄い導体層を仲立ちとした継手では、接合電圧の印加時間を延ばすとともに導体層の導電率は低下し、長時間の電圧印加を施した継手では用いた測定器の計測限界を超えた高抵抗となった。導体層を厚くした継手でも接合中の電圧印加時間とともに導電率は低下したがその割合は小さく、長時間の電圧印加を行っても高抵抗の接合界面は得られなかった。継手界面の光透過率はアルミニウム、チタンいずれの導体層を用いた継手でも導電率と良い相関を示した(図2)。接合界面の微細組織観察によって、高抵抗となった接合界面ではほぼすべての導体層が接合中に酸化されており、導通性が残った界面には未酸化の導体層が残っているのが観察された。これらの結果から、接合中にガラスから供給される酸素によって酸化される導体層の割合を制御することで、接合後の界面の導通性を制御でき、薄い導体層を用いて長時間の電圧印加を行うことでほぼ絶縁性の接合界面を得ることもできることが明らかになった。

チタン層厚さ (nm)	電圧印加時間 (s)	光透過率 (%)	電気抵抗 (Ω)
20	0	29	230
20	30	63	2800
20	100	69	*
20	300	78	*
40	0	11	77
40	100	21	143
40	300	25	223
40	900	40	390
60	0	3	44
60	100	7	54
60	300	10	64
60	900	10	72

(*: 測定限界外)

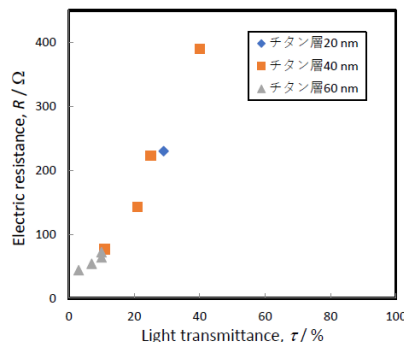


図2 チタンを仲立ちとしたガラス同士の陽極接合界面の光透過率と電気抵抗の関係

(3) ガラス同士の陽極接合を、接合を仲立ちする導体層を両側のガラス板の接合面に施して行う方法の検討

ガラス同士の陽極接合界面に仲立ちの導体層が完全に酸化された部分と未酸化の導体層が残った部分を共存させる方法として、当初仲立ちの導体層に薄い部分と厚い部分を作る方法を検討した。しかし、ガラスの接合面に場所によって厚さの異なる導体層を施す手順が煩雑であり、また2つの導体層を積層するため、製膜の方法によっては導体層の間の接合が不十分になる懸念があった。そこで、ガラス同士の陽極接合では従来、片側のガラス板の接合面にのみ製膜していた仲立ちの導体層を両側のガラスの接合面に施して行う手法を開発した。両側の接合面に導体層を置くことができれば、接合界面に導体層が残存した部分とすべての導体層が酸化された部分が共存するような継手をより容易に作成できるようになる。両側の接合面に導体層を施した場合、それぞれのガラス板とその上に施した導体層の界面は陽極接合されるものの、重ね合わされた導体層同士の界面は接合されないため全体の接合が完了しない。しかし、両側のガラス板に施す導体層の片方を十分に薄くすれば、接合中にまず薄い導体層がすべて酸化され、その後形成された酸化層と反対側の導体層の界面が陽極接合されるのではないかと考え、この仮説の検証のために、両側のガラスに施す導体層の厚さの組合せと接合電圧の印加時間を系統的に変化させての接合を試みた。仲立ちとなる導体層にはアルミニウムを真空蒸着して用いた。その結果、薄い導体層と厚い導体層の組み合わせでは長時間の電圧印加を行うことで接合界面全体が密着した継手が得られ、両側のガラスに導体層を施してのガラス同士の陽極接合が可能であることが明らかになった。同じ組み合わせで電圧印加時間を短くした場合、また厚い導体層同士の組み合わせでは、両側のガラスの接合面に未酸化の導体層が残存し接合が完了しなかった。また、薄い導体層同士の組合せでは、長時間の電圧印加を行っても部分的に未接合部が残った。これは、両側の導体層の酸化がほぼ同時に完了するため、一方の酸化層と反対側の導体層が接合されるのに十分な時間がないためと考えられた。

(4) non-blocking anode 元素を用いて、ガラス同士の陽極接合において接合を仲立ちする導体層の酸化を部分的に遅らせて、その範囲に未酸化の導体層を残存させる方法の検討

ガラス同士の陽極接合を仲立ちする導体層の厚さを部分的に変えてやることで、接合界面に残存する導体層の量を場所によって変化させ、導体層が全て酸化された界面と残存した界面が共存した継手を作製することができたが、この方法では、導体層の厚さが替わるところで接合面に段差が生じるので、その周囲の接合界面の密着が妨げられる可能性があった。一方、導体材料の中には銀や銅など non-blocking anode と呼ばれる、ガラスと接触させて陽極としてガラスとの間に電圧を加えると陰極側に移動していくガラス中の陽イオン元素を置換しながらガラスに

侵入するものがある。そこで、ガラス同士の陽極接合において **non-blocking anode** をガラスと仲立ちの導体の間にはさめば、電圧印加開始後まず **non-blocking anode** がガラスに吸収されるまでの間、ガラスと仲立ちの導体の接合の開始を遅らせることができる。そこで、アルミニウム層を仲立ちとしたガラス同士の陽極接合において、アルミニウム層とガラスの間に部分的に銀層をはさんで、接合後にその部分にアルミニウム層を残存させることを試みた。この場合、ガラスとアルミニウム層の間に銀層をはさんだ部分とアルミニウム層のみの部分の境界には、銀層がすべてガラスに吸収されるので段差は生じない。この方法で、仲立ちのアルミニウム層が銀層を施した部分で残存し、それ以外の部分ではすべて酸化された継手を得ることができた。しかし銀層がない部分のアルミニウム層が全て酸化された後、その部分のガラスから回り込んだ O^{2-} イオンが銀層のある部分の周縁部のアルミニウム層を優先的に酸化してしまい銀層を施した部分のアルミニウム層の残存量が均一にならなくなるので、それを抑制するために印加する電圧の繊細な制御が必要になることが明らかになった。

(5) 高導通性の部分と絶縁性の部分が共存するガラス同士の陽極接合界面の作製

(3)の研究で開発した、接合する両方のガラスの接合面に仲立ちの導体層を施して陽極接合を行う手法を応用して、未酸化の導体層が残存し高い導通性を持つ部分と全ての導体層が酸化され絶縁性となった部分が共存するガラス同士の陽極接合界面を作製した。接合面に、幅 4.75 mm、長さ 20 mm、40 nm 厚のアルミニウム層の帯を 0.5 mm の間隔を空けて平行に 2 本施したソーダライムガラス板 (1 mm 厚) に、幅 12.5 mm、長さ 25 mm で接合面に 10 nm のアルミニウム層を施した同材の板 (1 mm 厚) を、アルミニウム層同士が十文字に交差するように重ね合わせて陽極接合した。適切な接合条件下で、2 枚のガラスの間に 10 nm 厚のアルミニウム層のみがはさまれていた部分はそのアルミニウム層を仲立ちとして、10 nm 厚のアルミニウム層と 40 nm 厚のアルミニウム層が両方はさまされていた部分はまず 10 nm 厚の層が完全に酸化された後でその酸化層に 40 nm 厚の層が接合されることで、接合界面の全体が密着した継手を得られた。10 nm 厚のアルミニウム層のみで仲立ちされた部分は全てのアルミニウム層が酸化されて光を透過するようになり、2 つのアルミニウム層が重なった部分は 40 nm 厚のアルミニウム層の一部が未酸化のまま残ったため、幅の狭いガラスを接合した部分をまたいで高い導通性が認められた。間隔を開けた 2 本の帯の間には電流が流れず、接合界面中で薄いアルミニウム層のみがあった部分はその層の酸化によって導通性を失っていることが確認された。このようにして高導通性の部分と絶縁性の部分が共存するガラス同士の陽極接合界面が得られた。

(6) 集束イオンビーム加工で作成したマイクロメートルサイズの片持ち梁の曲げ試験によるガラス同士の陽極接合界面の接合強さの評価

陽極接合界面の強さの評価は、接合の対象であるガラスやその接合の相手として代表的なシリコンが脆性材料であること、また主に薄板同士の重ね接合に用いられるので得られる継手から製作できる試験片の形状に大きな制限があることから従来困難であった。そこでこれらの問題を解決して陽極接合界面の強さを正しく評価するため、集束イオンビーム (FIB) 加工を用いて接合界面を横切る微小サイズの曲げ試験片を作製し、曲げ試験も FIB 装置に内蔵されたマイクロサンプリング機構を用いて行うことを試みた。アルミニウム層を仲立ちとしたソーダライムガラス同士の陽極接合継手を接合界面に垂直に切断した断面に金相学的研磨を施した。この断面に表れた接合界面を横断する、幅、厚さともに 2 μm 、長さ~15 μm の片持ち梁を FIB 加工によって作製し、この片持ち梁に先端を同じく片持ち梁の形状に加工したマイクロサンプリング機構のタングステンプローブを通じて横方向から力を加えて曲げ試験を行った (図 3)。破断に至るまでのガラス片持ち梁とタングステンプローブの変形の様子を SEM の動画で記録し、破断直前の両者の変形量からガラス片持ち梁の曲げ強さを求めた。その結果、この材料の組合せの接合界面は接合温度 473 K、接合電圧 500 V で~30 s の短時間の電圧印加による接合で 3-4 GPa の、従来マクロな試験片のせん断試験等で求められた陽極接合界面の強さとは桁違いの強さを示すこと、この値はさらに電圧印加時間を伸ばしても大きく変わらないことが見いだされた。

(3)の研究で開発した、ガラス同士の陽極接合を仲立ちとなる導体層を両側のガラスの接合面に施して行う方法、また(4)の研究で検討した **non-blocking anode** 元素を用いて、ガラスと接合する導体の酸化を部分的に遅らせる方法において、ガラスと導体の実質的な接合時間や印加電圧が小さくなる場合を想定して、より短時間の電圧印加、小さな接合電圧によるガラス同士の陽極接合の進行を微小片持ち梁の曲げ試験を用いて検討した。その結果、ソーダライムガラス同士をアルミニウムを仲立ちとして接合した場合について、接合界面全体が密着し、十分な接合強度を示すのに必要な条件が電圧印加中にガラス中を移動する電荷量で整理できることを見出した。

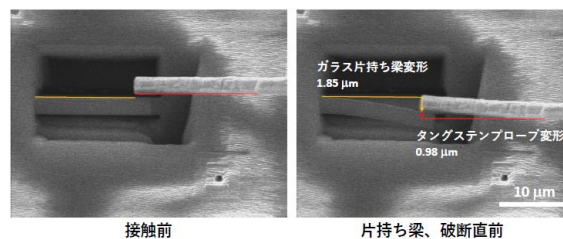


図 3 FIB 装置を用いた微小片持ち梁の曲げ試験

(7) ガラス同士を、仲立ちの導体層を両側の接合面に施して陽極接合した界面の強さの評価

両側の接合面に導体層を施してのガラス同士の陽極接合が可能なのは(3)の研究で明らかに

できたが、得られた接合界面が十分な強さを持つかどうかはわからなかった。そこでそれらの接合界面の強さを、(6)の研究で開発した、FIB装置を用いて行う微小曲げ試験によって評価した。接合面に仲立ちのアルミニウム層をそれぞれ厚さ 10 nm と 30 nm 施したソーダライムガラス板 (1 mm 厚) 同士を接合温度 473 K で 700 V の接合電圧を 100 s と 600 s の二通りの時間印加して接合した界面の評価を試みたところ、電圧印加時間 100 s の界面は試験の前加工の段階で剥離し、600 s の界面の強さも 0.5 GPa~2 GPa の範囲でばらついた。TEM 観察によって、この界面の破断は薄いアルミニウム層と厚いアルミニウム層の界面で生じていることが見出された。薄い層と厚い層の接合は前者の酸化が完了した後で進むため実質的な接合時間が短くなり、接合のための反応に係る O^{2-} イオンが十分に供給されなかったものと考えられた。そこで薄いアルミニウム層の酸化がより短時間で完了するよう厚さを 5 nm とし他は同様の条件で接合したところ、電圧印加時間 100 s の界面には前加工中に亀裂が生じたが、600 s の界面の強さは 3 GPa を超え、片方のガラスの接合面のみにアルミニウム層を施して接合した界面とほぼ同等となり、この方法でガラス同士の高強度の陽極接合界面が得られることが示された。

(7) 陽極接合によって 3 枚以上のガラス板を貼り合わせる方法の検討

導体層を仲立ちとして陽極接合したガラス同士の継手にさらに別の導体を陽極接合しようとする、最初に接合したガラス同士の界面に未酸化で残った仲立ちの導体層がその継手中で 2 番目の接合中に生じるアルカリイオンの移動をせき止め、そこにアルカリイオンが集積するために最初の接合界面が剥離したり、界面近傍のガラス中に亀裂が生じる。そのため従来、陽極接合では 3 枚以上のガラス板を貼り合わせることはできなかった。しかし、最初の接合で仲立ちの導体層を完全に酸化させれば、残った酸化層はもはや 2 番目の接合中にアルカリイオンの移動を妨げず、最初の接合界面の劣化を招くことなく 2 番目の接合を完了させられるのではないかと考え、アルミニウム層を仲立ちとしたソーダライムガラス同士の接合でその可能性を検証した。その結果、最初の接合中に仲立ちの導体層を完全に酸化させた陽極接合界面には 2 番目の接合中にも剥離や亀裂は生じず、この方法で 3 枚以上のガラス板を陽極接合できることが示された。比較のために最初の接合で仲立ちのアルミニウム層を一部未酸化で残存させた継手では、2 番目の接合中に最初の継手の接合界面近傍のガラス中に多数の亀裂が生じた。

(8) 陽極接合のみを用いた、ガラス板からのガラスのカプセル構造の作成、さらに陽極接合界面を通してカプセル構造の外から中につながる配線パターンを形成する可能性の実証

(7)の研究で開発した、陽極接合によって 3 枚以上のガラス板の貼り合わせ接合を行う手法を利用して、ガラス板から陽極接合のみによってガラスのカプセル構造を試作した。

直径 10 mm の円穴を開けたソーダライムガラス板に陽極接合を仲立ちするアルミニウム層を施し、穴のない同材のガラス板と陽極接合した。この接合中に仲立ちのアルミニウム層を完全に酸化するようにした。得られた継手の穴を開けたガラス板の側に再び接合を仲立ちするアルミニウム層を施し、同材の穴のないガラス板を陽極接合して、穴を開けたガラス板を穴のない 2 枚のガラス板でサンドイッチするようにして陽極接合のみでガラスのカプセル構造を作製した。またそのカプセル構造中に自由に動く状態の金属片を封入できることを確認した。

さらに(5)の研究で行った高導通性の部分と絶縁性の部分が共存するガラス同士の陽極接合界面の作製の手法を応用して、2 番目の接合の界面を通じてカプセル構造の内側と外側をつなぐ、幅 1 mm の電流経路を 2 本、平行に 0.5 mm の間隔を空けて作製し、2 本の電流経路それぞれの高い通電性と、間隔を空けた電流経路の間の絶縁性を確認した。(図 4)

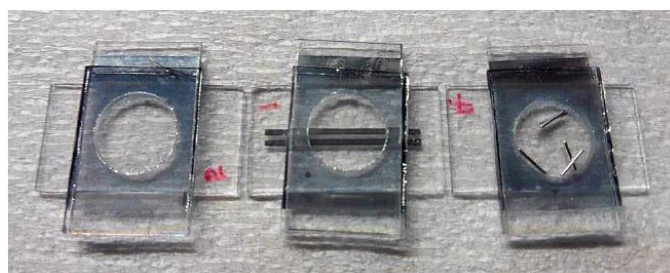


図 4 陽極接合で作成したガラスのカプセル構造。接合界面に電流経路を通したもの(中)と内部に金属片を封入したもの(右)

(8)の研究によって、課題の当初の目標であった、従来のガラス同士の陽極接合では接合界面全体に導体が残存し短絡状態となるため不可能であった、接合界面上のお互いに絶縁した配線パターンの形成を実現した。この手法は、これまでガラスに別に穴を開けて作成しているガラスの封止体中への電流経路を陽極接合界面を通して形成することを可能にしたもので、内部への電気回路接続を必要とするガラス封止体の製造の容易化に寄与するものである。またその過程で開発した、(3)のガラス同士の陽極接合を、接合を仲立ちする導体層を両側のガラス板の接合面に施して行う手法、(7)の陽極接合によって 3 枚以上のガラス板を貼り合わせる方法は、それぞれ陽極接合界面の高機能化、陽極接合による複雑な構造の作成に寄与する。また(6)の FIB 装置を利用した微小片持ち梁の曲げ試験の手法は、ガラス同士の接合界面の強さの評価に広く応用可能であり、継手の信頼性向上に寄与する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 アルミニウム層を仲立ちとしたガラス同士の陽極接合界面組織の形成と継手強さ
3. 学会等名 (一社)溶接学会 2019年度春季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 両側の接合面に仲立ちの導体層を施して作成したガラス同士の陽極接合界面の健全性
3. 学会等名 (一社)溶接学会 2019年度秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Takahashi
2. 発表標題 Glass-to-Glass Anodic Bonding using Conductive Intermediate Layers on Joint Surfaces of Both Glasses
3. 学会等名 Visual-JW 2019 & WSE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 ガラス同士の陽極接合界面の導電性の部分的制御
3. 学会等名 日本金属学会 2019年 秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 多層陽極接合
3. 学会等名 日本金属学会 2020年 春期（第166回）講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 導体薄膜を仲立ちとした陽極接合界面の接合強度
3. 学会等名 （一社）溶接学会 平成30年度春期全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 FIB加工を用いた微小力学試験による陽極接合界面の強度評価
3. 学会等名 （一社）溶接学会 平成30年度秋期全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 non-blocking anode元素を用いた陽極接合中の導体材料の酸化の部分的制御
3. 学会等名 （公社）日本金属学会 2018年秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Takahashi
2. 発表標題 Evaluation of strength of glass-to-glass anodically-bonded interfaces by micro mechanical testing
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-3) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 アルミニウム層を仲立ちとしたソーダライムガラス同士の貼り合わせ陽極接合における接合電圧の影響
3. 学会等名 (公社)日本金属学会 2019年春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 ガラス同士の陽極接合を仲立ちする導体層の電気抵抗と界面組織
3. 学会等名 (公社)日本金属学会 2017年秋期大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 ガラス同士の貼り合わせ陽極接合界面の導通性を制御する方法
3. 学会等名 (一社)溶接学会 平成29年度秋季全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 誠
2. 発表標題 ガラス板同士の陽極接合において、仲立ちとなる導体層を両側のガラス板に施してこれを行う方法の可能性
3. 学会等名 (公社) 日本金属学会 2018年春期大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----