

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26289112

研究課題名(和文) パワーデバイス基板のVUV/Vapor-Assisted低温大気圧接合

研究課題名(英文) Low Temperature and Non-Vacuum Bonding of Wide Bandgap Semiconductor Materials by VUV/Vapor-Assisted Method

研究代表者

重藤 暁津 (Shigetou, Akitsu)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・主幹研究員

研究者番号：70469758

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：GaNとSi(SiC)について、150℃以下かつ大気圧雰囲気で行う可能な一括接合技術を開発した。水分子など異種材に汎用性のある架橋性物質を含有する窒素雰囲気中で真空紫外光(VUV)を照射することで生成するラジカル種を利用し、材料表面の清浄化と極薄架橋層の形成を同時に行い、試料表面を接触させた後の低温加熱で脱水縮合反応などを促進して強固な結合を獲得した。これにより無機、有機を問わないハイブリッド接合が実現されたほか、架橋構造が簡易なパラメータで制御可能で、界面での特性劣化が少ないことを実証した。また、従来手法で製作されたものと同様構造のデバイスを接合手法で形成可能であることが示された。

研究成果の概要(英文)：A novel low temperature hybrid bonding process was developed for GaN, SiC, and Si, including other substrate materials such as PDMS, polyimide, and wiring metals. This process utilized the vacuum ultraviolet (VUV) in nitrogen atmosphere, where the compatible chemical bridging component like water vapor was introduced, therefore the vacuum atmosphere was able to be eliminated. The VUV irradiation in humidified nitrogen generated the radical species of H and OH, then enabled the cleaning of outmost surface, deoxidization of native oxide, and the creation of ultrathin hydrate bridges in single process. Upon heating at 150°C after the touchdown, dehydration condensation in the bridge layers resulted in strong adhesion regardless of the combination of materials. The interfacial structure and property was found robust after the aging test due to sufficient interdiffusion via ultrathin bridge layers. Moreover, a simple LED structure could be fabricated by this VUV/vapor-assisted method.

研究分野：表面・界面科学

キーワード：低温大気圧接合 ワイドバンドギャップ半導体 VUV

1. 研究開始当初の背景

昨今の電子機器においては、薄型軽量・環境対応性・高信頼性を獲得することは当たり前になってきている。このために、可撓性を有する材料と半導体基板を併用し、そこに異種信号素子を混載する必要が生じている。異種材料を電氣的・機械的にシームレスに接続することが可能になれば、例えば低価格な環境対応性光源や、軽量高耐熱性のカーエレクトロニクスなどの実現が期待される。しかし、軽量薄型化が進行すれば、発熱がシステム全体の機能に及ぼす影響が無視できなくなる。そこで、熱的物性に優れるワイドギャップ半導体が注目され、特に GaN や SiC についてはその積層技術に関して先駆的な研究が数多くなされている。例えばサファイア基板上へのエピタキシャル成長法は工業的にも完成されているが、大面積化が進むにつれ、基板製造コストが高額であることや、良好な結晶構造を保ちながら成長させることが難しくなってきた。従来の半導体製造工程とプロセス互換性があり、サファイアより放熱性の高い Si 基板上への成長を検討する先行研究も存在するが、基板材料との間の格子不整合などに起因する成膜プロセス複雑化や密着信頼性に課題を残す場合があった。さらに、金属や有機材などの異種材混載を考えたとき、これらを含む構造を従来の成長法で一括形成することは不可能である。そのため、個別工程で形成された材料を“アセンブリ”して必要な機能を獲得することが求められる。代表的な材料として GaN, SiC, サファイア, Cu や Al, ポリジメチルシロキサン (PDMS) やポリイミド (PI) などを挙げると、これらに汎用性のある接合手法が開発されなければならない。

そのために必要なのが、プロセス温度を有機材料のガラス転移温度、すなわち 150°C 程度以下に低下させることと、既存工業プロセスへの応用性を高めるために極度高真空雰囲気を排することである。過去に、原子論的に清浄化された基板表面に親水性架橋化合物または官能基を創製し、架橋層間の引力ならびに低温加熱による脱水縮合反応で異種材料間に強固な結合を生成する vapor-assisted 手法が開発されている[1]。この手法では、架橋性を発現させる物質として水を用いて Cu, SiO₂, 石英, ポリイミド, PDMS についての混載接合を世界初で実現したが[2]、初期表面の清浄化や改質が高真空雰囲気で行われていることに課題を残した。

2. 研究の目的

本研究では、前項で挙げた材料 (GaN, SiC, 各種金属, PDMS, ポリイミドなど) について、組み合わせを問わない一括接合を 150°C 以下かつ全工程において大気圧雰囲気で行う技術を開発することを主な目的とする。初期表面の改質のためのエネルギー源として、ほぼ全ての有機材側鎖構造の改変に有効な波長 200nm 以下の光、すなわち真空紫外光 (VUV) 照射を採用し、大気圧の窒素雰囲気において、1) 架橋性を発現する物質を含んだ状態で

の VUV 照射により初期表面の洗浄と架橋層の形成を同時に行い、2) 低温加熱により架橋層内での脱水縮合反応などを進行させ、極薄中間層を介した強固な接合界面を創製し、“VUV/vapor-assisted 接合手法”として確立する。プロセス条件を最適化するために、材料表面化学結合状態の変化や、架橋分子層の成長挙動を明確化する。また、水分子を架橋物質として用いたときの検討で得られた知見に基づき、接合達成と同時に界面の接続信頼性を向上させ得る化学構造を有する架橋の構築も検討する。さらに、実働デバイスを試作し、従来製法による試料と同様の構造を簡易な接合プロセスで構築可能かどうか検証する。

3. 研究の方法

(1) 架橋分子層形成挙動の明確化

図 1 に VUV/vapor-assisted 接合手法の概略を示す。まず基礎的な検討として、水を架橋性分子として大気圧の高純度窒素中に導入し、導入分子数をパラメータとして各材料表面の化学結合状態変化と架橋層の成長速度を明らかにする。分析には、科研費若手 A23686057 で製作した接合・表面解析装置を用いる。本装置には、X 線光電子分光法 (XPS)、高純度窒素ラインを含む溶剤霧化導入装置がそれぞれ高真空チャンバに封入され、フリップチップ接合チャンバと接続された構造を有する。この装置内でまず、体積湿度 (g/m³) を変化させた水蒸気を含む雰囲気中で VUV 照射を行い、化学結合状態の変化を XPS 角度分解法で観察する。体積湿度と VUV 照射時間の積を露出量と規定し、それをパラメータとして架橋分子層厚の変化を測定し、a) 無機材料に対しては表面の汚染物分子層が VUV フォトンエネルギーにより完全に分解され、同時に架橋性分子がラジカル化したことにより酸化物などが還元されて水和物層が形成される条件を、b) 有機材料に対しては側鎖が開鎖され、そこにラジカル種が作用してカルボニル基などの架橋性を有する官能基が形成される条件を求める。また、これらの知見から接合達成メカニズムを明らかにする。水以外の架橋性物質についても同様の検討を行う。

(2) 接合実験と基礎的な接合性能調査

前項で決定した表面改質条件に基づき、各材料の接合を全ての組合せで行い、界面微細構造の挙動を明確にする。透明基板材料についてはパルク試料を用いる。まず、接合プロセス条件が界面の構造に及ぼす影響を調査する。異なるパラメータの下で接合された試料について、架橋分子層内で発生する脱水縮合反応などの安定化反応と、母材原子の拡散量の違いを、透過電子顕微鏡 (TEM) ならびに電子エネルギー損失分光計 (EELS) を用いて観察し、原子レベルで有意なサイズのボイドやクラックが発生せず、かつそれぞれの材料の組合せの界面において企図される電子的機能が阻害されない値に架橋層や母材拡散層厚が制限されていることを実証する。次に、最適化された接合プロセス

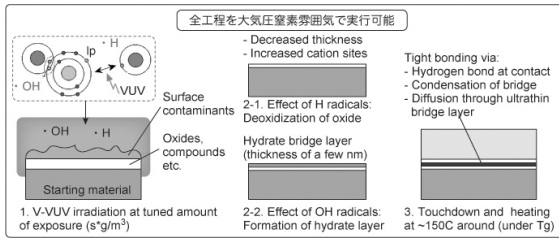


図1 VUV/Vapor-assisted 接合手法の概略.

条件を用いて得られた接合試料の基礎的性能評価を行う。機械的強度試験については、接合界面での剥離が発生しないこと、すなわち母材の凝集破壊であることを強固な接合の基準とする。また、接合強度や界面構造の経時的変化(加速試験)を行い、接合直後の値と比較する。さらに、PDMS や石英などの透明材料については、VUV 照射と架橋物質分子の吸着が光透過性に及ぼす影響を、分光エリプソメータを用いてバルク基板と比較調査する。

(3) 応用可能性の検証

金属間接合界面については、4 端子抵抗測定パターンを形成して接続抵抗の変化を測定する。GaN については、当初予定の SiC ではなく、より工業応用性に優れた Si 基板上と接合積層した試料を用い、発光デバイスを試作する。また、本接合手法を実用大型基板試料について実施するための基礎的なシングルチャンバ装置を製作する。装置には VUV 光源、試料ステージ、架橋物質分子溶液を試料表面上に微量噴霧するためのマイクロスプレーユニットを装備し、その構造と方法を権利化する。

4. 研究成果

(1) 架橋分子層形成挙動の明確化

金属、半導体、有機材それぞれについて、VUV/vapor-assisted 表面改質前後の表面化学結合状態の変化を、Ti, GaN, PI を例にとって図2に示す。無機材料については、従来の高真空中でのビーム衝撃手法 (Ar-FAB) や、vapor を含まない高純度窒素雰囲気での VUV 照射も比較として示した。Ti においては、VUV 照射のみの場合と比べて明らかに、VUV/Vapor-assisted 手法で改質された表面で Ti イオンの表出量を示すピーク強度が増加していて、最表面を被覆していたコンタミの除去と、H ラジカルによる酸化物の一部還元が進行したことがわかる(2a)。また、O1s ピークでは配位結合した分子水に起因する合成ピークが確認され (2b)、架橋能を有する水和物が形成されたことが示された。水和物の生成は露出量が一定の値に達するまでは露出量に比例して増加し続ける様子が観察された。これは表面改質に不可欠なラジカル種の生成に影響する O(D) の濃度が次式の 2 から 3 に移行するとき、すなわち VUV の光子エネルギーが全て水分子の解離反応で消費される時を境にラジカル種が減少することに起因すると考えられる：1) $H_2O + h\nu \rightarrow \cdot OH + \cdot H$, 2) $\cdot OH + h\nu \rightarrow O(^1D) + \cdot H$, 3) $O(^1D) + \cdot H \rightarrow \cdot OH + heat$, 4) $\cdot OH + \cdot H \rightarrow H_2O + heat$. 他の金属でも同様の傾向が確認された。GaN

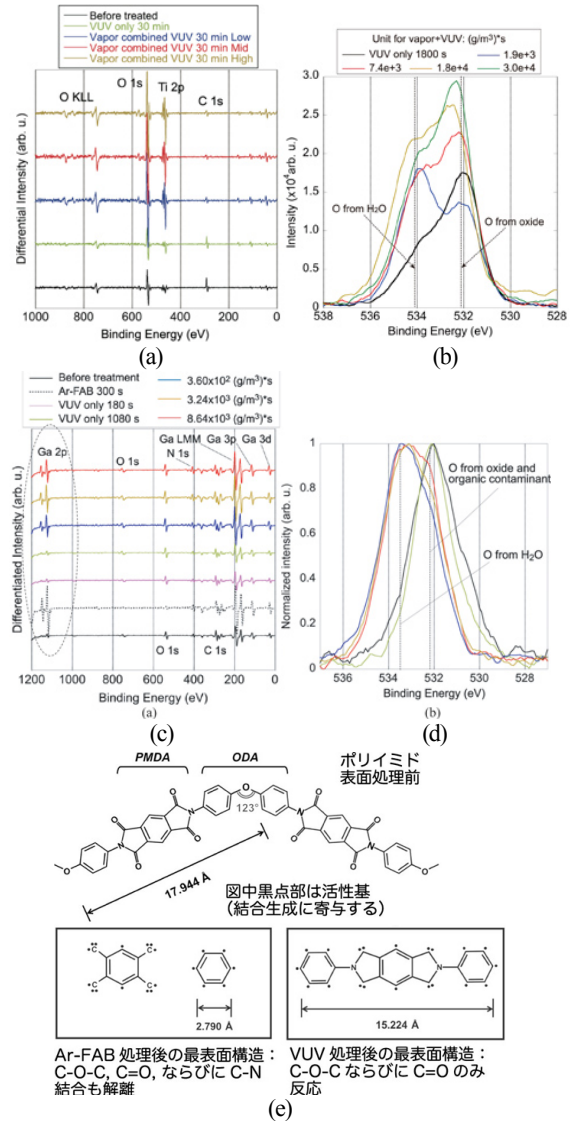


図2 表面改質前後での材料表面化学結合状態変化を示すXPSスペクトルなど。(a) Ti 広帯域、(b) Ti 表面のO1s、(c) GaN 広帯域、(d) GaN 表面のO1s、(e) ポリイミド化学構造変化の手法による違いの模式図。

においても、VUV 照射だけでは Ga イオンが十分に露出しないのに対して、vapor 含有雰囲気では Ar-FAB 照射と同等のピーク強度が得られており (2c)、水蒸気含有雰囲気では表面浄化が良好に進行したことから、Ga サイトに水和物が形成されたことを示唆する分子水ピークが観察された (2d)。PI に関しては、VUV/vapor-assisted 手法と従来の Ar-FAB による表面改質後の構造の違いを模式図で示した (2e)。C1s や価電子帯スペクトルの解析結果から、Ar-FAB では主鎖が断片化し、最表面はベンゼンが支配的な構造に変化しており、母材内部と単位鎖長が明らかに異なることによるひずみやヒビ割れ、また炭素濃縮による絶縁性の低下など、本来の特長的物性が損なわれやすいのに対し、VUV/vapor-assisted 手法では側鎖のエーテルやカルボニル基のみが反応して架橋を形成し、主鎖構造は大きく変化しないまま活性点(接合に寄与する部位)が得られるという優位性が実証された。他の多くの有機材料についても同様である。また、各材

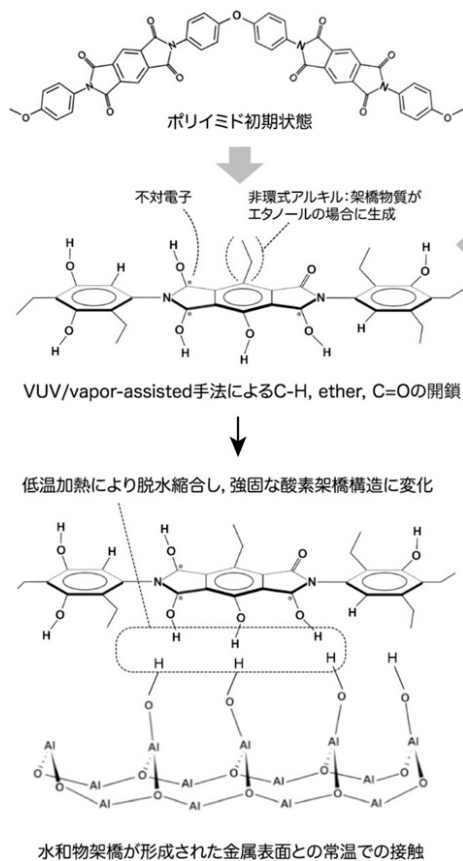


図3 有機無機ハイブリッド接合達成機構の模式図. AlとPIを例に示した. 水蒸気を架橋物質に用いた場合は水酸基のみ生成する. エタノールなどほかの架橋物質に用いた場合はそれに加え特有の架橋構造が生成し, 接合と同時に特長的な機能が発現する.

料について, 架橋層厚が最大になってもその値は数 nm 以下であることが確認されたので, 最大厚形成条件を次項の接合実験に用いた. これらの検討の結果から, 本手法による有機無機ハイブリッド接合界面では, 図3に例示したように接合が進行していると考えられる.

さらに, アンモニアやエタノールなど他の架橋性物質についても検討を行い, それぞれアミン基やエーテルなどの架橋官能基が企図した通りに形成され, 水和物架橋と同様に飽和量に達するまでは露出量に層厚が比例する成長挙動が観察された. 特にエタノールを用いた架橋については, その化学構造が耐水性を有することが判明したことから, 有機無機ハイブリッド接合界面において, 接合と同時に水分吸収に対する耐久性を獲得する方法として特許出願に至った (特願 2018-096240).

(2) 接合実験と基礎的な接合性能調査

前項で決定された最適条件を用いて, 各種材料を 150°C 以下かつ大気圧雰囲気中で接合した. 図4に有機無機ハイブリッド接合達成事例として PI-Al (4a)と Ti-PDMS (4b)を, 金属どうしの事例として Fe-Al (4c)を, ワイドバンドギャップ半導体の工業適用性の高い接合事例として GaN-Si (4d)を挙げ, それぞれの透過電子顕微鏡 (TEM) 拡大像を示す. また, GaN-SiC 接合体について界面近傍の組成マ

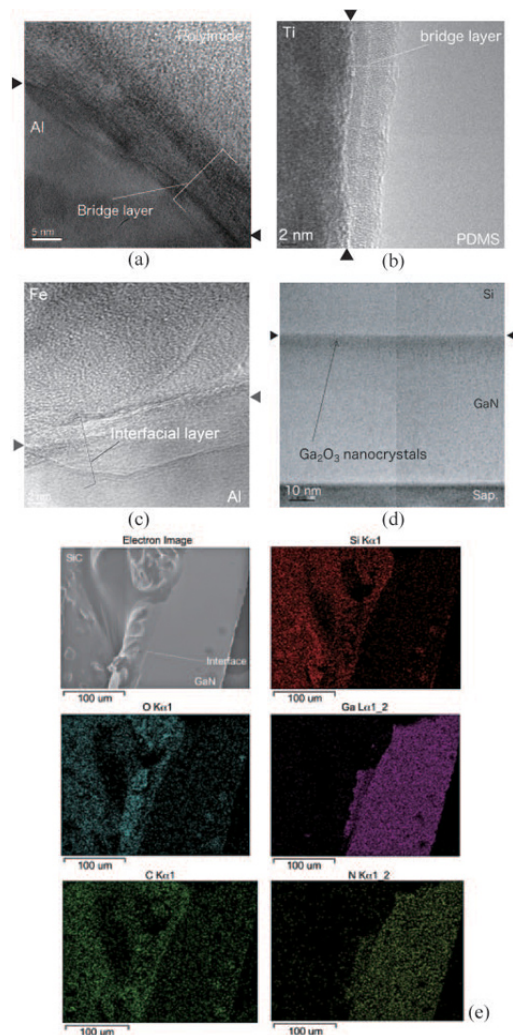


図4 VUV/vapor-assisted 手法で達成された異種材料の低温大気圧接合界面拡大像. (a) PI-Al, (b) Ti-PDMS, (c) Fe-Al, (d) GaN-Si, (e) GaN-SiC 界面近傍の EDX 像.

ッピングを行った結果も示す (4e). 接合体は接合後ただちに冷間樹脂に封入, 切断後機械研磨され, 収束イオンビームエッチングにより薄片化され, TEM 観察が行われた. いずれの拡大像においても, 厚さ 10nm 程度の非晶質の中間層 (架橋層) を介して表面が密着し, 原子レベルで視認できるサイズの空隙が含まれていない様子が観察された. これらの中間層内部の組成を電子エネルギー損失分光法 (EELS) などで分析した結果, いずれの層内においても双方の母材イオンが均等に検出された. 架橋層厚を十分に薄くしたことにより, 接合達成後も経時的に相互拡散が良好に進行し, 接合達成直後は直線的な粒界状界面が見られていたのが徐々に消失し, 最終的には化学的傾斜層の様相を呈して安定化したと考えられる.

このような安定化の傾向は, 機械的強度に好ましい影響を与えた. 安定化後は界面近傍に明確なクラック進展経路が無くなるため, VUV/vapor-assisted 手法で得られた接合界面では, 接合達成直後に一定の強度を得た後, 一定の経過時間までの間に再度強度が上昇する傾向を示した. 図 4(a)に挙げた PI-Al 界面では, 接合後大気中で3ヶ月以上放置した試料の引張強度を行った結果, 接合界面

では剥離せず、母材の凝集破壊が観察された。破断面での真の接合エネルギーを評価するために、見かけの破断面積を試料中央の円状に集約し、その端部を開放するために必要なエネルギーが全て新生面の創製(破断)に消費されると仮定する解析モデルを構築して検証したところ、PI単体の機械的強度を上回る値が見積もられた。図4(d)のGaN-Si接合界面では、界面の接合強度がGaN薄膜とサファイア担持基板の間のそれよりも大きいため、接合と離断を繰り返すことでSi基板上任意の場所への転写積層の可能性があると示唆された。さらに、接合界面に残存する脱水縮合後の中間層の構造が母材のGaNよりもバンドギャップが大きいGa₂O₃であることから、従来のエピタキシャル成長で必須であったバッファ層がなくなることに加え、積層界面での物性劣化が小さいことが期待される。以上の結果より、当初企図した通りの異種材料低温大気圧が実現されたと結論する。

(3) 応用可能性の検証

まず金属どうしの接合界面に関しては、Siチップ上に電解メッキ成膜したCu薄膜試料に3端子4線パターンを形成した試料をVUV/vapor-assisted(架橋物質は水)手法で150°C・大気圧雰囲気にて接合し、界面の接触抵抗を測定した。測定点数は10点で、10x10mm²の基板上に平均的に配置された。接合達成直後の平均抵抗率は $4.3 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ であったものが、150°C1000時間の高温放置試験後には $3.8 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ になり、電気伝導性が向上していることが判明した。純銅の理論的抵抗率よりは多少高い値ではあるが、従来の電極材であるハンダなどと比較すると、十分に実用に供することが可能な値である。金属試料の場合は水和物が架橋層になるので、脱水縮合直後はごく薄い酸化物(半導体~絶縁体)が界面に残存するが、その厚さを母材の自己拡散距離以下に抑制しているため良好に架橋層を貫通した相互拡散が進行し、導通を妨げなかったと考えられる。この傾向は前項の界面微細構造の安定化挙動とも合致する。次に、透明材料どうしの接合界面に関しては、厚さ0.5mmのPDMSや石英を接合したものについて、エリブソメータを用いて300-800nmの波長領域の光透過性を同じ厚さを持つバルク材と比較した。その結果、全体にわたって透過性損失がバルク比3%以下に留まり、界面での特性劣化が抑制できることが示された。最後に、ワイドバンドギャップ半導体については、図5に概要を示すように、n-type GaNとp-type GaNをそれぞれSi、サファイア基板上に

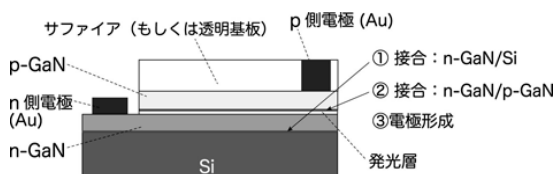


図5 試作した発光ダイオード構造の断面概略図。透明基板上に予め金属薄膜電極を形成し、金属とp-GaNを接合する構造にすれば、より薄型化される可能性がある。

用意した試料を用いた単純な3層発光ダイオード構造を試作した。この構造ではn-GaNとSiならびにn-GaNとp-GaNの2種類の接合工程が同一のプロセス条件で行われていることに特長がある。ホモ接統構造であることから輝度は非常に低いものの、一定の駆動が可能であることが確認され、機械的な貼り合わせ工程により素子構築が可能であることが示された。今後はより高輝度実用的なデバイスの構築と、長期信頼性評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] A. Shigetou et. al., J. Electr. Mater. (41), 2012, 2274.
- [2] 日刊工業新聞, 2012/10/25.

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8件: 全件査読有り)

1. Akitsu Shigetou, Jun Mizuno and Robert Kao, "Low temperature direct integration of GaN and Si," to be published in Journal of electronic materials, 2018.
2. 重藤暁津, 並木尚己, "次世代パワー半導体用接合技術の動向", YANO E Plus, vol. 118, No. 1 (2018) pp. 73-76.
3. Weixin Fu, Akitsu Shigetou, Shuichi Shoji and Jun Mizuno, "Low temperature direct bonding between PEEK(polyetheretherketone) and Pt via vapor-assisted vacuum ultraviolet surface modification," Materials Science and Engineering B - Advanced Functional Solid-State Materials, vol. 7, No. 2 (2017) pp. 49-62.
4. 山田剛, 重藤暁津, "真空紫外光を用いた高分子材料の直接接合", 接着学会誌, vol. 52, No. 4 (2017) pp. 101-106.
5. 重藤暁津, "低音大気圧による有機無機材料ハイブリッド化", ケミカルエンジニアリング, vol. 61, No. 4 (2016) pp. 287-293.
6. Masaki Ohyama, Masatsugu Nimura, Jun Mizuno, Shuichi Shoji, Toshihisa Nonaka, Yoichi Shinba and Akitsu Shigetou, "Evaluation of hybrid bonding technology of single-micron pitch with planar structure for 3D interconnection," Microelectronics Reliability, vol. 59 (2016) pp. 134-139.
7. 重藤暁津, 梶原優介, "新しい機能性表面/界面創製のツールとしての低温大気圧ハイブリッド接合技術", エレクトロニクス実装学会誌, vol. 19, No. 2 (2016) pp. 120-126.
8. Masatsugu Nimura, Jun Mizuno, Syuichi Shoji, Katsuyuki Sakuma, Hiroshi Ogino, and Akitsu Shigetou, "Hybrid Au-adhesive bonding by using planar adhesive structure for 3D LSI," IEEE transactions on components packaging and manufacturing technology, vol. 4, No. 5 (2014) pp. 762-768.

[学会発表] (計36件: プロシーディング類は全て査読有, 下記には研究代表者の招待・依頼講演のみ記述)

1. 重藤暁津, "異種材料複合化のツールとしての低温大気圧接合技術 - 原理と開発の現状", 日

- 本学術振興会 153 委員会 プラズマ材料学スクール, 名古屋, 2018/02/22.
2. Akitsu Shigetou, “Hybrid Bonding Among Polymers, Metals and Semiconductors for Lightweight and Smart Structural Materials,” NTU-NIMS Materials Science Conference & SMART Center Workshop, Taichun, Taiwan, 2017/12/20.
 3. 重藤 暁津, “新しい機能性材料創製の”道具”としての ハイブリッド接合”, 東レ 専門自主講座, 滋賀, 2017/11/30.
 4. Akitsu Shigetou, “A New Hybrid Bonding Method for 3D Integration,” 日仏工業技術会 在日フランス大使館 第 2 回日仏三次元集積回路の課題と今後の展開に関するワークショップ, Tokyo, 2017/02/24.
 5. 重藤 暁津, “高機能なハイブリッド界面創製のための低温大気圧表面改質技術”, 日本溶接協会 はんだ・微細接合部会シンポジウム, 東京, 2016/12/09.
 6. 重藤 暁津, “軽量スマート構造材料を指向したハイブリッド接合技術”, エレクトロニクス実装学会 機能性ハイブリッド材料研究会公開研究会, 東京, 2016/10/31.
 7. Akitsu Shigetou, “Non-Vacuum Low Temperature Hybrid Bonding for Lightweight and Smart Structural Materials,” IEEE International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuit Technology Conference, Taipei, Taiwan, 2016/09/26.
 8. Akitsu Shigetou, “Low Temperature Hybrid Bonding Without Vacuum Atmosphere for Future Bioelectronics Packaging,” IEEE/CPMT/JIEP Microelectronics System Symposium, Nagoya, 2016/09/08.
 9. 重藤 暁津, “高機能なハイブリッド界面創製のための低温大気圧表面改質技術”, スマートプロセス学会 第 13 回電子デバイス実装研究会, 東京, 2016/05/23.
 10. 重藤 暁津, “多様な応用分野開拓のためのハイブリッド接合技術”, 日本機械学会 研究協力事業委員会所属分科会 高密度エレクトロニクス研究会, 東京, 2016/04/28.
 11. 重藤 暁津, “低温大気圧による有機無機材料ハイブリッド化”, 日本機械学会 研究協力事業委員会所属分科会, 東京, 2016/01/29.
 12. 重藤 暁津, “パワーエレクトロニクス材料の低温大気圧ハイブリッド接合”, NIMS フォーラム講演会, 東京, 2015/10/07.
 13. 重藤 暁津, “低温大気圧接合による材料ハイブリッド化手法および装置”, 物質・材料研究機構 新技術説明会, 東京, 2015/09/03.
 14. 重藤 暁津, 細田奈麻絵, 水野 潤, 庄子習一, “Low temperature hybrid bonding at atmospheric pressure by using vacuum ultraviolet/vapor-assisted method,” 日本化学会第 95 春季年会, 千葉, 2015/03/26.
 15. 重藤 暁津, “材料ハイブリッド化のツールとしての低温大気圧接合”, 第 5 回 TSV 応用研究会, 2014/12/17.
 16. 重藤 暁津, “材料ハイブリッド化のツールとし

ての低温大気圧接合技術”, 機械学会 ワイドバンドギャップ半導体デバイスに関わる超精密加工プロセス研究会, 沖縄, 2014/10/26.

17. Akitsu Shigetou, Ajayan Mano, Jun Mizuno and Shoji Shuichi, “Vapor-assisted bonding method as a tool for materials hybridization in future 3D integration,” IUMRS-ICEM, Taipei, Taiwan, 2014/06/11.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 積層体の製造方法, 及び, 積層体

発明者: 重藤 暁津, 楊 弘偉

権利者: 国立研究開発法人物質・材料研究機構

種類: 特許権

番号: 特願 2018-096240

出願年月日: 2018/05/18

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件: 出願は期間前であるが, 本研究の着想を含み成立した)

名称: 接合方法

発明者: 重藤 暁津, 水野 潤, 庄子 習一

権利者: 国立研究開発法人物質・材料研究機構,

学校法人早稲田大学

種類: 特許権

番号: 第 6251935 号

取得年月日: 2017/12/08

国内外の別: 国内

[その他]

○誌上での研究室・技術紹介

重藤 暁津, 宮崎秀樹, “研究室訪問”, エレクトロニクス実装学会誌, vol.20 No. 4 (2017) p. 231.

○プレスリリース

重藤 暁津, “水を使って有機材料と金属や半導体を強固に接着”, 広報誌 NIMS NOW vol. 16, No. 6 (2016):

<http://www.nims.go.jp/publicity/nimsnow/vol16/201606.html>

○展示会での研究紹介

重藤 暁津, “水を用いた異種材料の高信頼性接合技術”, NIMS フォーラム, 2014/10/09.

6. 研究組織

(1)研究代表者

重藤 暁津 (SHIGETOU AKITSU)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・主幹研究員

研究者番号: 70469758

(2)研究分担者

水野 潤 (MIZUNO JUN)

早稲田大学・ナノ理工学研究機構・上級研究員

研究者番号: 60386737