

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：32678

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21009

研究課題名（和文）多孔質ガラス表面上のGe量子構造創製と光電子融合素子への応用

研究課題名（英文）Creation of Ge quantum structure on porous glass and its applications to optoelectronic integrated devices

研究代表者

澤野 憲太郎（Sawano, Kentarou）

東京都市大学・理工学部・教授

研究者番号：90409376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：ガラス基板上IoTデバイスの実現に向けて、新規技術として、ナノ多孔層を有するガラス基板上への高品質な半導体量子ナノ構造形成技術の確立を目指した。特に次世代の半導体材料として期待されているゲルマニウム（Ge）に注目し、ガラス上Geナノドット形成とその発光デバイス応用を目指した。その結果、ガラスのナノ多孔内を埋めるように、Geのナノドットが形成できることを示し、さらにその構造から、室温で強い発光（フォトルミネッセンス）を得ることに成功した。さらにこの構造を、マイクロ構造加工や基板直接貼り合わせプロセス等に展開させ、発光デバイス、光電子融合デバイス応用の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今日の高度情報化社会において、多種多様なIoTデバイスの開発が重要になっており、ガラスやフレキシブル基板上の低消費電力で低コストな半導体デバイスの実現が求められており、本成果はその基盤となる技術に繋がる。すなわち、車や建物、カメラやディスプレイなどを中心に、高機能な超小型センサー、小型チップを形成する技術に繋がる。学術的には、ナノ多孔構造を有するガラス界面における半導体結晶のナノ構造成長についての知見が初めて得られ、今後のナノ粒子、ナノドット等を基盤とした新しいナノ科学分野の開拓に繋がる。

研究成果の概要（英文）：We aimed establishments of technologies for formation of high quality semiconductor nano structures on nano porous glass substrates as novel technologies toward realization of IoT devices on transparent glass substrates. Particularly, we focused on Germanium as a material that has been attracting attentions for next-generation semiconductor devices, and we aimed creation of Ge nanodots on the glass substrate and their applications to light emitting devices. As results, we demonstrated that the Ge nanodots can be formed in the nano holes in the glass and obtained strong room-temperature light emission (PL). Furthermore, we applied the Ge nanodot structures to micro bridge fabrication and wafer bonding processes, demonstrating high potentialities of the Ge nanodots toward optoelectronic integrated device applications.

研究分野：半導体工学

キーワード：ゲルマニウム ガラス 発光デバイス マイクロブリッジ ナノドット

### 1. 研究開始当初の背景

Society 5.0 社会を迎え、情報量が膨大化すると共に、それを支えるハードウェア技術として、多種多様な IoT (Internet of Things) デバイスの開発がますます重要になっている。その中、車や建物、カメラやディスプレイなどを中心に、高機能な超小型センサー、小型チップを形成する技術が重要となる。これらの高機能なデバイスは、長年の技術の蓄積のある半導体技術、ナノテクノロジーに頼らざるを得ないことは自明であり、その中で、最先端の半導体微細構造やナノスケール量子構造等の新規技術により、さらに高性能、低消費電力デバイスの実現が必須である。

通常、最先端ナノ構造、ナノデバイスは、半導体単結晶基板の上に、高度な結晶成長技術や、超微細ナノ構造作製プロセスを駆使して作製される。一方、透明なガラスやプラスチックなどのフレキシブル基板の上にこのような構造を実現できれば、低価格・透過機能などの利点を生かし、IoT デバイスを中心に多様な応用・展開が広がる。ゲルマニウム (Ge) は Si を超える性能を有し、Si に代わる材料として期待されている。我々はこれまでに、現行の Si-LSI プロセスに導入すべく、Si プラットフォーム上の Ge 薄膜形成、デバイス応用の研究を進めてきた。本研究では、フレキシブル基板上の Ge 光電子融合デバイスの実現に向けた新規技術の開発を進める (図 1)。

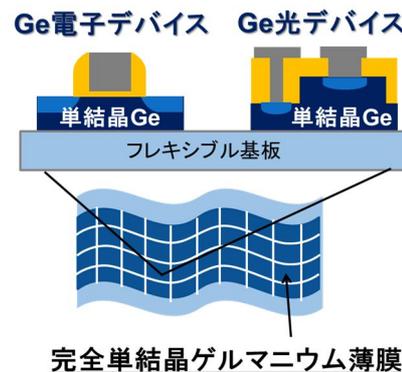


図 1 フレキシブル基板上の Ge 光電子融合デバイス

### 2. 研究の目的

透明なガラス基板上 IoT デバイスの実現に向けて、新規技術として、ナノ多孔層を有するガラス基板上への高品質な半導体量子ナノ構造形成技術の確立を目指した。

特に本研究では、ナノ多孔層を有するガラス基板を利用した。これは、ガラス表面から階層的にサイズが変化するナノ多孔層 (HNL : Hierarchical Nanoporous Layer) を有するガラス基板であり、非常に簡便なプロセスで作製する技術が最近開発された (T. Fujima et al., Langmuir 30, 14494, 2014.)。この方法を採用し、形成されたナノ多孔層ガラス基板上に、半導体材料として Ge を選び、ガラス上 Ge ナノドット形成とその発光デバイス応用を目指した。

本研究の具体的達成目標は次の 3 点である。

- ・新規に作製したナノ多孔層ガラス基板上へ、アモルファス・ゲルマニウム (Ge) を堆積し、その後の熱処理によってナノ多孔内を埋めるように Ge を拡散させ、Ge ナノドットを形成する (図 2)。
- ・形成した Ge ナノドットの結晶性、光学特性を調べ、室温での発光 (フォトルミネッセンス) を得る。
- ・上記で達成した、発光機能を有するガラス基板上 Ge ナノドット構造を用いて、マイクロ構造加工等を試み、発光デバイス応用可能性を実証する。さらにガラス上へ、別の Si 基板上 Ge 単結晶薄膜の直接貼り合わせを試み、ナノ構造と電子デバイスの融合可能性を検証する。

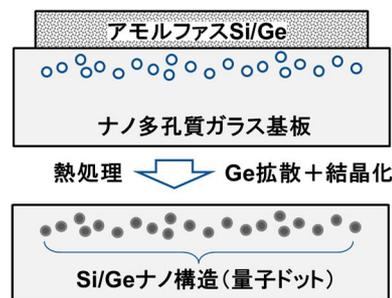


図 2 目標とするガラス基板上 Si/Ge 量子ナノドット形成手法

### 3. 研究の方法

溶液処理によってナノ多孔層を導入したガラス基板 (ナノ多孔層 (HNL) ガラス基板) 上へ、ゲルマニウム (Ge) アモルファス薄膜を堆積し、熱拡散によって多孔質内を埋めるように Ge 単結晶ナノドットが形成されるかについて調べた。具体的な試料構成プロセスを図 3 に示す。ホウケイ酸ガラスを  $\text{NaHCO}_3$  溶液に浸漬し、加熱することでガラス表面に HNL を形成した。その後、真空チャンバーにて室温で、アモルファス Ge 薄膜を 50 ~ 100 nm、分子線蒸着堆積させた。堆積後、真空または Ar 雰囲気中にて、400 ~ 600 °C で 1 ~ 10 分の熱処理を行い、結晶化過程を詳細に調べた。評価として、走査型電子顕微鏡 (SEM : Scanning Electron Microscope) による構造観察、エネルギー分散型 X 線分光法 (EDS : Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) による Ge 組成分布評価、ラマン分光法による結晶性評価、フォトルミネッセンス (PL) による発光特性評価

等を進めた。さらにフォトリソグラフィーによるマイクロブリッジ構造の形成を行い、発光特性を調べた。また、Si 上の Ge 薄膜の直接貼り合わせも試みた。

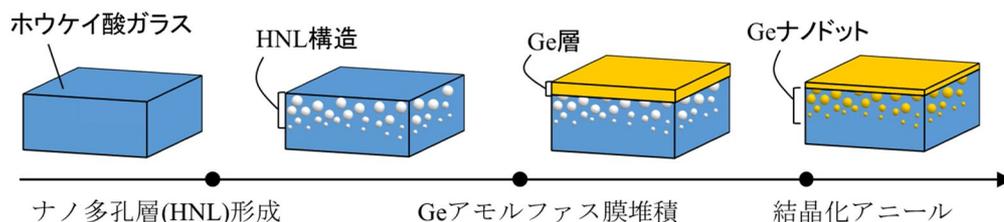


図3 研究手法 (ナノ多孔層ガラス基板上 Ge ナノドット形成プロセス)

#### 4. 研究成果

##### (1) SEM 評価

まず構造解析、組成分析を進めた。図4に作製した試料の断面SEM像を示す。HNL処理を行っていない試料では、ガラス上のGe薄膜が見られる。一方HNL処理を行った試料では、ガラス表面近傍600nm程度の深さまでHNLが形成されており、その影響を受け、表面のGeがドット状に形成されていることが分かる。

さらにGeがHNL内に存在しているか、その分布を確認するために、エネルギー分散型X線分光法(EDS: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)にて測定した。結晶化アニール後のEDSによる各元素の強度分布をSEM像の上に示す。これより、HNLを形成することにより、多孔層内にGeが大きく拡散していることが確認された。また、HNLは不純物やそれに結合されたSiO<sub>2</sub>がエッチングされているため、表面付近になるにつれてSiや酸素が減少していることが確認できた。

以上の結果は二次イオン質量分析(SIMS)による元素深さ分布評価によっても確認され、ガラス表面に堆積されたアモルファスGeが熱処理中に拡散を起こし、下部に広がるナノ多孔内にナノ結晶を形成したことが示された。

##### (2) ラマン測定評価

続いて、ラマン測定によってGe膜の結晶状態や結晶性、歪み等を調べた。図5にナノ多孔層を導入していない試料(a)と、導入した試料(b)について、熱処理前、各温度で熱処理した後のラマンスペクトルを示す。熱処理後に結晶Geを示すピークが現れ、結晶化が起こっていることが示された。しかし、ガラス表面にナノ多孔層を形成していない場合では、500nmまではアモルファス状態であり、600nmで結晶化が生じている。それと比較し、ナノ多孔層を形成することでGeの結晶化が大幅に促進され、非常に驚くべきことに、ナノ多孔層形成により、熱処理前でも結晶化が生じていることが分かった。

以上の結果は、ナノ多孔層によって、Ge原子がナノ多孔層内へ拡散し、そこで結晶核形成が促進されることにより結晶化が推進され、多孔層内部へGeナノドットが形成されたことを示す結果と言える。

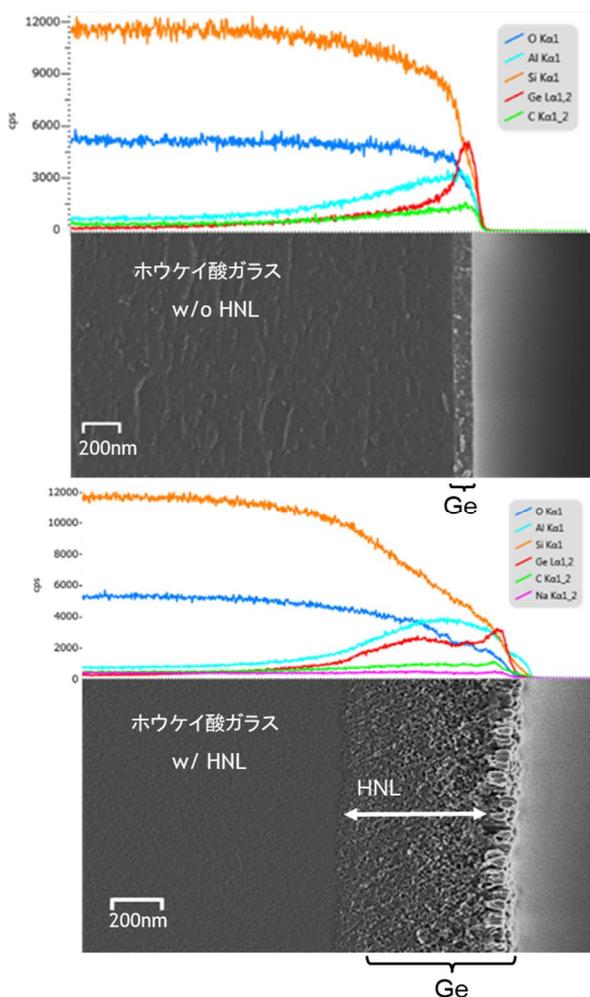


図4 作製した試料のSEM像とEDSによる各元素の強度分布。(上図)HNL処理を施していない試料(下図)HNL処理を施した試料

また、ラマンスペクトルのピーク位置より、Ge 結晶は結晶歪みを有していることが分かった。熱処理過程において、Ge とガラス材料との熱膨張率の差によって生じたものと考えられる。歪みは引っ張り状態を示し、これは Ge バンド構造において、伝導帯の バレーの低下につながることから、発光遷移の直接遷移確率が増加し、発光効率向上をもたらすことが期待される。

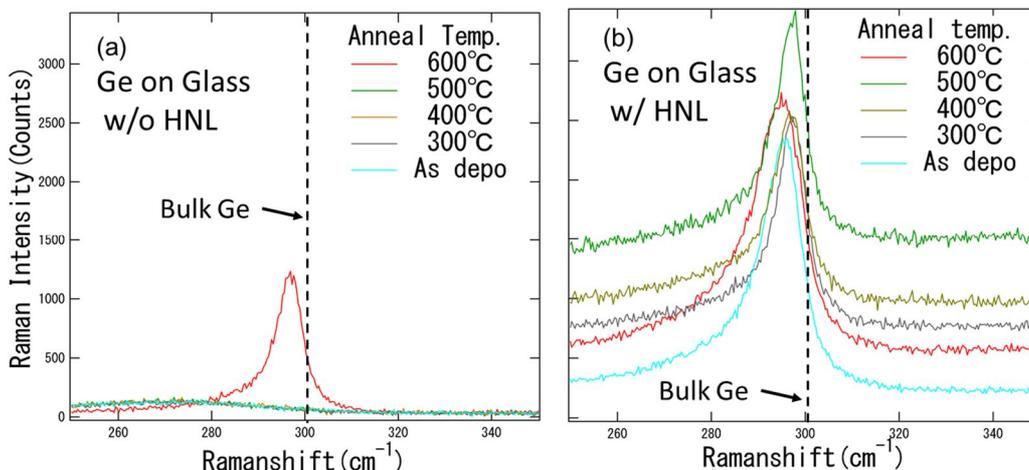


図5 (a) ナノ多孔層 (HNL) を導入していないガラス基板、および (b) 導入していないガラス基板上に形成した Ge 薄膜の、各温度で熱処理を施した後のラマンスペクトル。

### (3) PL 評価

各試料の室温でのフォトルミネッセンス (PL) 測定結果を図6に示す。比較のためナノ多孔層 (HNL) を形成していないガラス基板上に Ge 膜を形成した試料の結果も示す (図6 (a))。HNL を有する試料では強い発光が確認できる。一方 HNL のない試料では発光が非常に弱い。以上の結果から、HNL 内に Ge が拡散し、ナノ構造となって発光に寄与していることが示唆される。

図6 (b) に、P ドーピングの有無の比較を示す。ドーピングしていない Ge/HNL ガラスに対してドーピングした Ge/HNL ガラスからは発光の増加が見られた。これは HNL 内の Ge ナノドット中の P ドーパントが活性化し、発光に効いていることを示している。これは HNL 構造内で pn 接合の実現可能性も示し、光通信機能内蔵のガラス・デバイスへ応用に期待ができる。

以上のようにナノ結晶の単結晶成長と強い発光が確認されたが、より詳細には、ガラス中に形成されたナノ構造と、ガラス上部の膜状 Ge のどちらからの発光であるのかの区別が付けられない問題があった。そこで、上部薄膜をエッチングすることで発光がどのように変化するかを調べた。Ge のエッチングは過酸化水素水により行った。その結果、HNL 基板上に Ge を堆積した試料においては、エッチングと共に発光強度が増大することが確認された。これは、上部の Ge 薄膜をエッチングによって除去することで、PL 測定の励起レーザー光が内部まで侵入し、より内部の構造からの発光を評価できるようになったためである。つまり内部の Ge の方が発光強度が強いことを示している。これは、内部に Ge ナノ構造が形成されていることを強く示唆している。これと比較して、HNL を有していない未処理のガラス基板上に Ge を同様に形成した試料では、

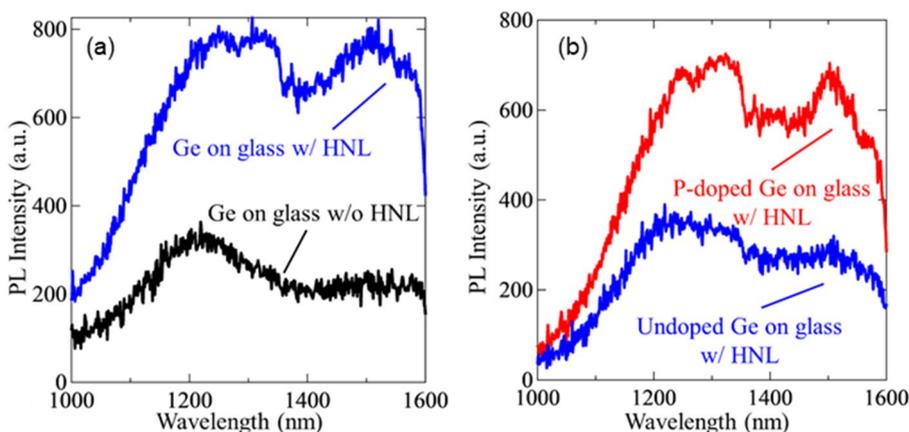


図6 各試料の室温で測定した PL スペクトル。(a) ナノ多孔層 (HNL) の有無による比較。(b) P ドーピングの有無による比較。

エッチングと共に強度は特に変化せず、Ge 層の減少と共に強度減少が見られた。つまり、Ge ナノ構造が形成されていないことを示している。以上の結果より、ガラス基板に HNL 形成することで、その上に Ge ナノ構造が形成されたことが示された。

#### (4) マイクロブリッジ

ガラス基板上 Ge ナノドット発光構造の発光デバイス化へ向けて、その発光強度の増加と発光ピーク制御を目指し、ガラス基板のマイクロ構造加工による光共振器構造の形成を試み、その発光特性を調べた。

まず光閉じ込めと光共振が生じるかどうかの確認として、Si 上の Ge 単結晶薄膜をマイクロブリッジ (以下 MB) 構造に加工し、その発光特性を調べた。ドライエッチングによって上部 Ge と下部の Si 基板の一部までエッチングし、その後 KOH による選択エッチングによって Ge ブリッジ部分の下部の Si を除去することで、完全浮遊型の MB を完成させた。ブリッジ幅を数  $\mu\text{m}$  から数十  $\mu\text{m}$  まで変化させた各 MB 構造のフォトルミネッセンス (PL) を室温にて測定した。MB 加工によって飛躍的に発光強度が増大すると共に、1.5~2  $\mu\text{m}$  の領域で強い共振ピークが複数確認された。そのピーク周期はブリッジ幅に対応していることも確認され、ブリッジの側壁での反射による共振が生じ、発光強度増大につながっていることが示された。これらの知見を生かし、Ge ナノ構造を有する HNL ガラスの MB 加工を試みた (図 7)。その結果、良好な MB 構造が HNL ガラス基板上に形成され、発光強度の大きな増加が得られた (図 8)。しかしながら、Ge 薄膜 MB と比較して、急峻な共振ピークは見られず、ガラスの低い屈折率やブリッジ側壁のラフネスなどの影響による低反射率が要因であることを示唆する結果と言える。

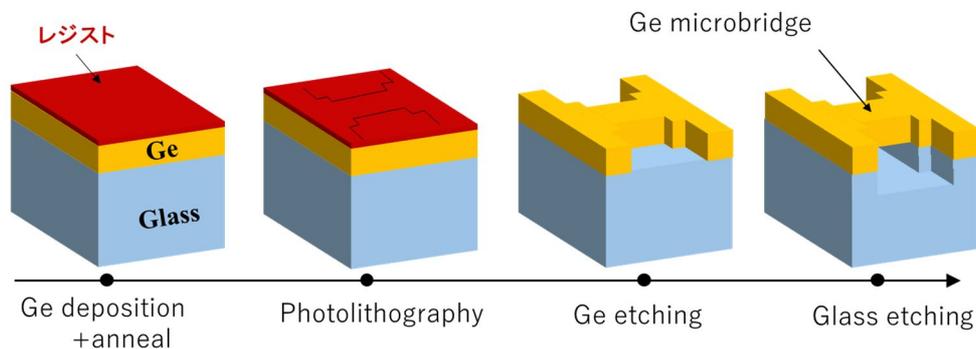


図 7 Ge ナノドット・マイクロブリッジ構造形成プロセス

#### (5) 貼り合わせ

光電子融合デバイス応用へ向けて、ナノ構造を形成したガラス基板上に、別の Si 基板上に結晶成長した単結晶 Ge (SiGe) 膜の貼り合わせを試みた。この手法では、貼り合わせ後に、選択エッチングによって、Si 基板は除去可能であり、単結晶 Ge (SiGe) 膜のみガラス上に残すことができる。ここで、熱膨張係数の違いから、貼り合わせ面がはがれてしまう問題があり、貼り合わせ強度向上が課題となる。ナノ多孔層ガラス表面が超親水性を有することと、生じる歪みが多孔層によって吸収・緩和することにより、安定した貼り合わせが可能となることが期待できる。さらに、アモルファス層挿入が強度向上に寄与する。これまでに、通常ガラス上へアモルファス Ge 膜を堆積後、別の Ge 基板を貼り合わせ熱処理すると、基板から単結晶化が進むと同時に、貼り合わせが進むことを確認している。今回多孔質ガラスにすることでこの強度向上が見込める。

貼り合わせを進めた結果、ナノ多孔層を有するガラス基板の表面平坦性の低さが問題となった。通常貼り合わせには、RMS (二乗平均粗さ) 1 nm 以下が必須であるが、ナノ構造によって表面は数 nm のラフネスを有しており、これが要因となって貼り合わせた薄膜の剥離が生じてしまうことが分かった。本研究では、ナノ構造を有する表面の、CMP による表面平坦化を進め、ガラス用の研磨材、研磨条件を見出し、表面ラフネス 1.0 nm を得た。今後はナノ構造の有無を確認した後、貼り合わせを進めることで、光電子融合デバイスへの道が拓けるのと考えている。

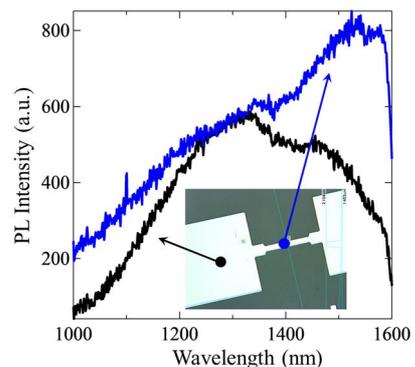


図 8 ガラス上 Ge マイクロブリッジから得られた室温 PL スペクトル

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10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 Kikuoka Shuya, Kanesawa Rena, Yamada Michihiro, Hamaya Kohei, Sawano Kentarou	4. 巻 176
2. 論文標題 Enhancement of room temperature electroluminescence from strained SiGe/Ge(111) multiple quantum wells light emitting diodes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 108299 ~ 108299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mssp.2024.108299	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 Kanesawa R., Kikuoka S., Shibahara Y., Wagatsuma Y., Yamada M., Hamaya K., Sawano K.	4. 巻 177
2. 論文標題 Fabrication of crack-free strained SiGe/Ge multiple quantum wells on Ge-on-Si(111) by the patterning method	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 108300 ~ 108300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mssp.2024.108300	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 Wagatsuma Youya, Kanesawa Rena, Alam Md. Mahfuz, Okada Kazuya, Inoue Takahiro, Yamada Michihiro, Hamaya Kohei, Sawano Kentarou	4. 巻 16
2. 論文標題 Significant reduction of crack propagation in the strained SiGe/Ge(111) induced by the local growth on the depth-controlled area patterning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 015502 ~ 015502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/aca751	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 T. Inoue, Y. Wagatsuma, R. Ikegaya, K. Okada, K. Sawano	4. 巻 590
2. 論文標題 Fabrication of SiGe/Ge microbridges based on Ge-on-Si(110) and observation of resonant light emission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 126682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2022.126682	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 Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Reo Ikegaya, Ayaka Odashima, Masaki Nagao, Kentarou Sawano	4. 巻 109
2. 論文標題 Fabrication of branch-like bridges based on Ge-on-Si (110) and observation of resonant light emission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 297-302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/10904.0297ecst	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 Sawano Kentarou, Youya Wagatsuma, Alam Md. M, Omata Kaisei, Niikura Kenta, Shibata Shougo, Hoshi Yusuke, Yamada Michihiro, Hamaya Kohei	4. 巻 98
2. 論文標題 (Invited) Strain Engineering of Si/Ge Heterostructures on Ge-on-Si Platform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 267 ~ 276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09805.0267ecst	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 Yamada Kodai, Hoshi Yusuke, Sawano Kentarou	4. 巻 98
2. 論文標題 Strong Room-Temperature Electroluminescence from Ge-on-Si by Precise in-situ Doping Control	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 513 ~ 518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09805.0513ecst	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 Youya Wagatsuma, Alam Md. M, Okada Kazuya, Hoshi Yusuke, Yamada Michihiro, Hamaya Kohei, Sawano Kentarou	4. 巻 98
2. 論文標題 Increased Critical Thickness for Strained SiGe on Ge-on-Si(111)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 499 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09805.0499ecst	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 Wagatsuma Youya, Alam Md. Mahfuz, Okada Kazuya, Yamada Michihiro, Hamaya Kohei, Sawano Kentarou	4. 巻 14
2. 論文標題 A drastic increase in critical thickness for strained SiGe by growth on mesa-patterned Ge-on-Si	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 025502 ~ 025502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abd4c5	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 Yamada Kodai, Wagatsuma Youya, Okada Kazuya, Hoshi Yusuke, Sawano Kentarou	4. 巻 14
2. 論文標題 Enhanced electroluminescence from Ge-on-Si by precise in-situ doping and post-annealing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 045504 ~ 045504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abf0df	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49件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 24件)

1. 発表者名 関 祥真、三宅 拓磨、徐 学俊、澤野 憲太郎、眞田 治樹
2. 発表標題 近・中赤外領域におけるSiマイクロリング共振器のQ値の波長依存性
3. 学会等名 第71回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 長尾 優希、小田島 綾華、井上 貴裕、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 選択的イオン注入によるGe-on-Si(111)上歪みSiGeへのクラック発生の抑制
3. 学会等名 第71回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 吉田 雄一、武井 爽一郎、澤野 憲太郎
2. 発表標題 高移動度歪みGeチャネルに向けたSi(111)上SiGeバッファの形成とクラック発生抑制
3. 学会等名 第71回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 新井 聖雅、長尾 優希、澤野 憲太郎
2. 発表標題 パターニング手法によって形成した歪み SiGe 層内へのクラック発生に対する熱処理の影響
3. 学会等名 第71回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小田島 綾華、井上 貴裕、長尾 優希、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge-on-SOIを用いた完全浮遊型マイクロブリッジの作製
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 櫻井 優一、高松 海夕、佐野 汐、金澤 伶奈、菊岡 柊也、井上 貴裕、澤野 憲太郎
2. 発表標題 レーザーマーカを用いたGe-on-Insulator(111)の作製と歪みSiGe再成長
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐野 汐音、金澤 怜奈、櫻井 優一、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge-on-Insulator (100)上のSiGe/Ge多重量子井戸の作製と結晶性および光学特性評価
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 貴裕、小田島 綾華、長尾 優希、居藤 智鷹、吉川 修、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Al2O3パッシベーションによるGeマイクロブリッジからの発光強度増大
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金澤 怜奈、菊岡 柊也、芝原 夕夏、我妻 勇哉、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge-on-Si (111)上の歪みSiGe/Ge多重量子井戸形成における臨界膜厚の増加とクラック発生の抑制
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長尾 優希、我妻 勇哉、井上 貴裕、小田島 綾華、芝原 夕夏、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 パターンニングを施した Si (111)上への歪み SiGe/Ge の作製と評価
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 芝原 夕夏、金澤 怜奈、菊岡 柊也、長尾 優希、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 超音波による歪みSiGe/Ge-on-Si(111)へのクラック発生
3. 学会等名 第84回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金澤 怜奈、我妻 勇哉、菊岡 柊也、杉浦 由和、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge-on-Si(111)上の歪みSiGe/Ge多重量子井戸形成におけるクラック発生の抑制
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉本 翔悟、我妻 勇哉、井上 貴裕、徐 学俊、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Gd2O <sub>3</sub> -on-Si(111)上へのSiGe/Geヘテロ構造の形成と評価
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅 拓磨、徐 学俊、澤野 憲太郎、小栗 克弥、眞田 治樹
2. 発表標題 高Q値中赤外Siマイクロリング共振器
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菊岡 柊也、我妻 勇哉、杉浦 由和、金澤 伶奈、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 歪みSiGe/Ge量子井戸LEDのダイオード特性と室温EL発光
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高松 海夕、我妻 勇哉、櫻井 優一、佐野 汐音、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge-on-Insulator(111)構造の作製におけるレーザーマーカを用いたエッチングレート向上の効果
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kentarou Sawano
2. 発表標題 Strain engineering of Si/Ge heterostructures based on Ge virtual substrates
3. 学会等名 E-MRS 2023 Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Reo Ikegaya, Ayaka Odashima, Masaki Nagao, Kentarou Sawano
2. 発表標題 Fabrication of Si/Ge microbridges based on Ge-on-Si (110) and effect of bridge length
3. 学会等名 The Joint ISTDM-ICSI 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shuya Kikuoka, Youya Wagatsuma, Yuwa Sugiura, Rena Kanesawa, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Diode characteristics and room temperature EL emission of strained SiGe/Ge quantum well LEDs
3. 学会等名 The Joint ISTDM-ICSI 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Kanesawa, Y. Wagatsuma, S. Kikuoka, Y. Sugiura, M. Yamada, K. Hamaya and K. Sawano
2. 発表標題 Fabrication of crack free strained SiGe/Ge multiple quantum wells on Ge on Si(111) by the patterning method
3. 学会等名 The Joint ISTDM-ICSI 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Md. Mahfuz Alam, Youya Wagatsuma, Kazuya Okada, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya, and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Strain engineering of heteroepitaxial SiGe/Ge on Si with various crystal orientations
3. 学会等名 The 242nd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Inoue, Y. Wagatsuma, L. Ikegaya, A. Odashima, M. Nagao and K. Sawano
2. 発表標題 Epitaxially grown of SiGe on Ge microbridge and observation of strong resonant light emission
3. 学会等名 The 242nd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayaka Odashima, Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Reo Ikegaya, Masaki Nagao and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Fabrication of microbridges based on Ge-on-SOI and observation of strong resonant light emission
3. 学会等名 The 242nd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Reo Ikegaya, Takahiro Inoue, Takuya Komazawa, Youya Wagatsuma and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Fabrication of strained Ge microbridge structures with meshed pads and their optical properties
3. 学会等名 The 242nd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayaka Odashima, Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Reo Ikegaya, Masaki Nagao and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Fabrication of microbridges based on Ge-on-SOI and observation of strong resonant light emission
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress IVC-22 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Inoue, Y. Wagatsuma, R. Ikegaya, A. Odashima, M. Nagao, K. Sawano
2. 発表標題 Pumping power dependence of light emissions from strained Ge microbridges
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress IVC-22 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Inoue, Y. Wagatsuma, R. Ikegaya, A. Odashima, M. Nagao, K. Sawano
2. 発表標題 Fabrication of SiGe/Ge microbridges based on Ge-on-Si(110) and observation of resonant light emission
3. 学会等名 APAC Silicide 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Leo Ikegaya, Kentarou Sawano
2. 発表標題 Fabrication of branch-like bridges based on Ge-on-Si(110) and observation of strong resonant light emission
3. 学会等名 The 2022 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田島 綾華、井上 貴裕、我妻 勇哉、池ヶ谷 玲雄、長尾 優希、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge-on-Si(110)上のマイクロブリッジの作製と強い共振発光の観測
3. 学会等名 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上 貴裕、我妻 勇哉、池ヶ谷 玲雄、小田島 綾華、長尾 優希、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge-on-Si (110)を用いた枝型マイクロブリッジ作製による共振発光の観測
3. 学会等名 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 駒澤 卓哉、池ヶ谷 玲雄、井上 貴裕、我妻 勇哉、澤野 憲太郎
2. 発表標題 二軸歪みGeマイクロブリッジの発光特性におけるスリット導入の効果
3. 学会等名 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長尾 優希、井上 貴裕、小田島 綾華、我妻 勇哉、藤間 卓也、澤野 憲太郎
2. 発表標題 階層的ナノ多孔層ガラス基板を用いたPドーブGeナノ結晶の形成と発光特性
3. 学会等名 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池ヶ谷 玲雄、井上 貴裕、駒澤 卓哉、我妻 勇哉、澤野 憲太郎
2. 発表標題 メッシュ型パッドを有する歪みGeマイクロブリッジの発光特性にホールサイズが与える影響
3. 学会等名 第83回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuwa Sugiura, Masashi Sasaki, Youya Wagatsuma, Koudai Yamada, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Strong room-temperature EL emission from Ge-on-Si(111) diodes with ferromagnetic Schottky-tunnel electrodes
3. 学会等名 ISNTT 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Leo Ikegaya, Kazuya Okada and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Strong resonant light emission in strained Ge microbridges
3. 学会等名 ISNTT 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Youya Wagatsuma, Md. Mahfuz Alam, Kazuya Okada, Rena Kanesawa, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Observation of photoluminescence from SiGe/Ge MQW on Ge-on-Si(111)
3. 学会等名 ISNTT 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuwa Sugiura, Masashi Sasaki, Youya Wagatsuma, Koudai Yamada, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Strong room-temperature EL emission from Ge-on-Si(111) diodes
3. 学会等名 ICMBE 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Leo Ikegaya, Kazuya Okada and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Epitaxial growth of strained Si <sub>0.2</sub> Ge <sub>0.8</sub> on Ge microbridge
3. 学会等名 ICMBE 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Youya Wagatsuma, Md. Mahfuz Alam, Kazuya Okada, Rena Kanesawa, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Suppression of crack formation and propagation in strained SiGe by patterning Ge-on-Si substrates
3. 学会等名 ICMBE 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuwa Sugiura, Youya Wagatsuma, Koudai Yamada, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Room temperature EL from strained Ge-on-Si(111) diode structures
3. 学会等名 EMRS 2021 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahiro Inoue, Youya Wagatsuma, Kodai Yamada and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Effect of uniaxial strain direction on luminescence properties of strained Ge microbridge structures
3. 学会等名 EMRS 2021 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Youya Wagatsuma, Md. Mahfuz Alam, Kazuya Okada, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Suppression of crack formation in strained SiGe layers by patterning of Ge-on-Si substrates
3. 学会等名 EMRS 2021 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentarou Sawano, Youya Wagatsuma, Md. Mahfuz Alam, Kaisei Omata, Kenta Niikura, Shougo Shibata, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada and Kohei Hamaya
2. 発表標題 Strain engineering of Si/Ge heterostructures on Ge-on-Si platform
3. 学会等名 PRiME 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Youya Wagatsuma, Md. Mahfuz Alam, Kazuya Okada, Yusuke Hoshi, Michihiro Yamada, Kohei Hamaya and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Increased critical thickness for strained SiGe on Ge-on-Si(111)
3. 学会等名 PRiME 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kodai Yamada, Yusuke Hoshi and Kentarou Sawano
2. 発表標題 Strong room-temperature electroluminescence from Ge-on-Si by precise in-situ doping control
3. 学会等名 PRiME 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山田 航大、星 裕介、澤野 憲太郎
2. 発表標題 In-situドーピング制御によるGe-on-Siからの室温EL発光
3. 学会等名 第68回 応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 貴裕、我妻 勇哉、山田 航大、澤野 憲太郎
2. 発表標題 歪みGeマイクロブリッジ構造の発光特性に及ぼす一軸歪み方向の影響
3. 学会等名 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 我妻 勇哉、Md. Mahfuz Alam、岡田 和也、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 Ge基板に替わりGe-on-Siを用いることによる歪みSiGeへのクラック発生抑制
3. 学会等名 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉浦 由和、我妻 勇哉、山田 航大、星 祐介、山田 道洋、浜屋 宏平、澤野 憲太郎
2. 発表標題 歪みGe-on-Si(111)ダイオード構造からの室温EL発光
3. 学会等名 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021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
研究 分担 者	藤間 卓也  (Fujima Takuya)  (40392097)	東京都市大学・理工学部・教授    (32678)	

6. 研究組織（つづき）

	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	藤田 博之  (Fujita Hiroyuki)  (90134642)	東京都市大学・付置研究所・教授     (32678)	

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