

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03147

研究課題名（和文）フェムト秒レーザー照射によるワイドバンドギャップ半導体と金属界面の非熱的合金化

研究課題名（英文）Non-thermal annealing of the interface between wide band-gap semiconductor and metal induced by femtosecond laser irradiation

研究代表者

富田 卓朗 (TOMITA, Takuro)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・准教授

研究者番号：90359547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、フェムト秒レーザー照射により、金属とシリコンカーバイド及び窒化ガリウム間にオーミック接触を作製することを目標とした。レーザー照射には二通りの方法を用いた。一つは、試料表面からレーザー照射を行い、それから電極を蒸着する手法である。もう一つは、先に電極を蒸着してから半導体側からレーザーを照射する手法である。これらの手法を用いることで比較的低温の熱アニールもしくは熱アニールを必要としないオーミック電極の作製に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、フェムト秒レーザー光をワイドバンドギャップ半導体の表面に照射してから電極を蒸着する方法とワイドバンドギャップ半導体に電極を蒸着してからフェムト秒レーザー光を界面に照射する方法の両方においてオーミック電極作製することに成功した。これらの結果は、シリコンカーバイドや窒化ガリウムに電極を作製する上で簡便かつ自由度の高い方法を提案したことになる。今後、更なる低抵抗電極を実現できれば、ワイドバンドギャップデバイスの性能向上へ大きく繋がるのが期待できる。

研究成果の概要（英文）：Femtosecond laser irradiation technique was examined for ohmic electrode fabrication on the wide bandgap semiconductors such as silicon carbide (SiC) and p-type gallium nitride (p-GaN).

We irradiated femtosecond laser beam to the samples in two ways. We call them the surface irradiation and the interface irradiation methods. In the surface irradiation method, an electrode was deposited after the irradiation to the sample surface. In the interface irradiation method, after the deposition of the electrodes, femtosecond laser beam was irradiated to the interface between the metal contacts and the wide bandgap semiconductors from the substrate side.

By using these two method, we succeeded in fabricating the ohmic contacts on wide bandgap semiconductors.

研究分野：光物質科学

キーワード：フェムト秒レーザー レーザー加工・改質 シリコンカーバイド 窒化ガリウム 金属電極

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで、電力の輸送や変換を担うパワーエレクトロニクス分野において、シリコン(Si)が多く用いられてきた。しかし、パワーエレクトロニクス分野における膨大なエネルギー損失の主な原因として、電力変換機器の中核をなす Si を用いたパワーデバイスの性能限界が指摘されている。そこで、優れた物性値を持つワイドバンドギャップ半導体に低損失化と小型化への期待が高まっている。ワイドバンドギャップ半導体は一般に原子間の結合が強く、熱伝導度、飽和ドリフト速度、絶縁破壊電界が大きいという特長を持つ。その特長から短波長発光素子、高温動作素子、高出力・高周波素子など、産業界から大きなニーズがあり、様々な分野での開発、実用化が進んでいる。特に、ワイドギャップ半導体の代表例としてシリコンカーバイド(SiC)や窒化ガリウム(GaN)系半導体などが注目を集めている。

SiC は Si と炭素(C)が一对一の割合で結合したIV-IV族化合物半導体であり、原子間の結合力が強くバンドギャップが大きいという特徴を持つ。更に、SiC は Si やヒ化ガリウム(GaAs)等を用いた既存の半導体素子に比べ、高温での化学的安定性を有し、高い絶縁破壊電界と高い熱伝導率を合わせ持つ。さらに SiC の特徴として、他のワイドバンドギャップ半導体とは異なり n 型及び p 型半導体の両伝導型を容易に制御できることや、絶縁膜として機能する良質な二酸化ケイ素(SiO₂)が熱酸化により形成できることが挙げられる。既存の Si 半導体におけるプロセス技術を応用できる特徴を持つため、高温動作デバイスや耐高電圧パワーデバイス用材料として、積極的に研究開発がなされている。最も期待されているのは電力変換用の大容量パワーデバイスへの応用である。これらの装置は扱う電力が大きいため、通電時やスイッチング時の損失の低減、高速化、大容量化などの性能向上と、集積化などによる使いやすさの向上などが求められている。SiC パワーデバイスは Si パワーデバイスに比べてオン抵抗が約 2 桁半小さいため、パワー損失を大幅に低減でき、大容量化、小型化、冷却装置の簡易化も可能である。

一方で、GaN 系半導体は、短波長系発光デバイスや高効率固体照明が実現され非常に注目を浴びている材料である。近年では、この GaN を用いたパワーデバイスの実用化が開始され、その省エネルギー効果も実証されている。しかし、その性能は発展途上であり、多くの研究開発課題が残されている。

我々の研究グループではかねてよりフェムト秒(fs: femtosecond) (10⁻¹⁵秒) レーザー光と物質の相互作用に関する研究を行ってきた。レーザー光は指向性、単色性、集光性といった、通常のランプ光源とは異なる優れた特長を有している。一般に使用される、炭酸ガスレーザー、およびナノ秒(10⁻⁹秒)パルス YAG レーザーなどを用いたレーザー加工は材料の切断、表面処理、溶接等の産業応用が既に図られている。これらのレーザー加工のメカニズムは、レーザー光の照射によって材料表面近傍にプラズマが形成し、それにより加工部位の局所的な温度上昇が起き、材料が蒸発して加工されるレーザーアブレーションとして理解されている。この熱の影響により、レーザー加工を行った周辺部の変質、形状変化は本質的に避けることができず、レーザーを使用した半導体の超微細加工に適用することは困難だと考えられてきた。しかし、fs パルスレーザーのパルス時間幅は、ナノ秒レーザーに比べ 6 桁も短く、生成したプラズマが照射パルスと相互作用することがない。従って、熱の発生が極めて低く抑制でき、加工部周辺に熱影響がほとんど現れないという特徴から、フェムト秒レーザー加工は新たな超微細加工技術として産業応用への期待が高い。そこで我々は、ワイドバンドギャップ半導体に対し、フェムト秒レーザー光照射を行い、改質部を導入することにより、金属/SiC 間および金属/GaN における相互拡散を促進させるプロセスを考案した。

すでに我々は、Ni/SiC 界面に対して SiC 側から fs レーザーを照射して改質部を導入した後、300°C~400°Cの比較的低温でアニールを行うことで C、Ni 及び Si 原子が改質部に沿って優先的に相互拡散していることを確認している[1]。相互拡散層では NiSi が形成しており、Ni/SiC 界面の余剰 C 原子は Ni 膜中を拡散し、Ni 膜表面においてアモルファス C(a-C)を形成していることが判明した。

2. 研究の目的

本研究では、フェムト秒レーザー光照射により、金属と SiC 及び GaN 間にオーミック接触を製作することを目標とする。そこでフェムト秒レーザー照射の手法として図 1 に示す二種類の手法を検討した。本図では GaN を例にとって説明するが、GaN を SiC に置き換えれば SiC についても同様である。最初は、(上図)に示す表面照射の手法である。この手法では、フェムト秒レーザー照射を行った後に電極を蒸着する手法である。この後、必要に応じ、熱アニールを行う。もう一方の手法は、(下図)に示す界面照射の手法である。この手法では先に金属を蒸着してにおいて、ワイドバンドギャップ半導体側からフェムト秒レーザー照射を行うものであり、フェムト秒レーザー光がワイドバンドギャップ半導体に対し透明である性質を使うものである。

この両者の手法は SiC、GaN の双方に対し、そ

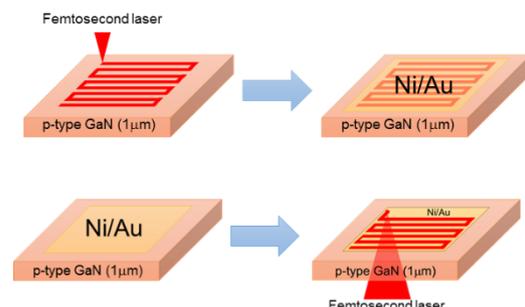


図 1 : フェムト秒レーザー照射モード図

(上図)表面照射、(下図)界面照射

それぞれ長所と短所があるため、それぞれの材料に対して両方の手法を検討し、両者の長所と短所を明らかにすることを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

使用した光学系の模式図を図2に示す。照射に使用したレーザーは1kHzチタンサファイア再生増幅器であり、構成は次のようになっている。レーザーダイオードにより励起用レーザー (Spectra Physics 社製: Millennia eV) が励起され、波長 532nm の連続波レーザー光を得る。その後チタンサファイアレーザー (Spectra Physics 社製: Tsunami) を励起し、中心波長 800nm のフェムト秒レーザー光を得る。得られたフェムト秒レーザー光は、Q スイッチレーザー (Spectra Physics 社製: Empower) によって励起されたチタンサファイア再生増幅器 (Spectra Physics 社製: spitfire) によってチャープパルス増幅法を用いて増幅される。生成されたフェムト秒レーザー光の波形はオートコリレータとオシロスコープを用いて確認した。その中心波長は 800 nm、パルス時間幅は 130 fs である。フェムト秒レーザー光は、エネルギーを調整するための 1/2 波長板、偏光ビームスプリッター (Polarizing Beam Splitter: PBS) を介して、ダイクロイックミラーにより垂直に倒立顕微鏡 (Olympus: IX-70) において導入される。倒立顕微鏡内において、20 倍の対物レンズ (NA=0.4) により集光され、電動走査ステージ (駿河精機: KS701-20LHD) 上の試料に照射される。照射前の試料は試料に応じて適切な洗浄を行った上で、金属電極を蒸着した。

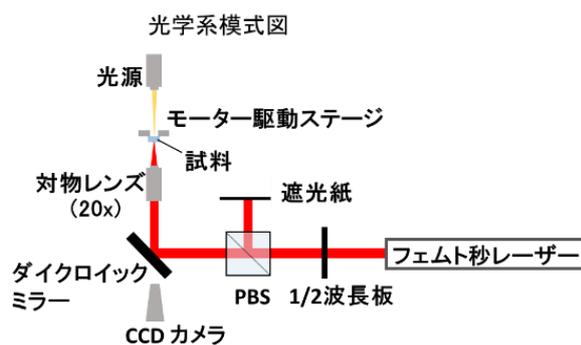


図2: 実験配置図

作製した電極の評価には、同じレーザーフルエンスで照射した隣り合う電極2つに対して、2探針法を用いて電流電圧特性を測定した。測定には、電圧源内蔵ピコアンメータ (ケースレーインstruments社製: 6487) を用いた。CCD カメラ、試料台は液体窒素プローブシステム (システムブレイン社製: Model SB-LN2PS) 付属のものを用い、タングステンプローブ (AMERICAN PROBE & TECHNOLOGIES 社製: Model 72A-C4) を用いた。電極が上面になるように試料を置き、CCD カメラの映像を確認しながら針を電極の上におく。このとき、電極上部を針で削りすぎないように慎重におこなう。電流電圧測定は、-10V~10V まで 0.5V ずつ変化させながら測定をおこなった。その他にも伝送長法やホール測定などの評価も行った。

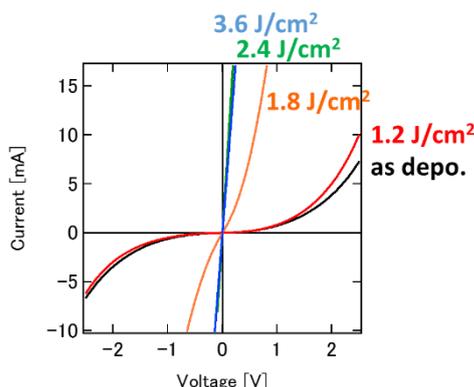


図3: SiC への界面照射と 900°C 熱アニールを行った後の電気伝導特性

4. 研究成果

(1) 最初に SiC への界面照射について検討を行った。n 型 4H-SiC 単結晶基板 (キャリア密度 $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) に、電子線蒸着により、厚さ 90 nm の Ni 電極を堆積した。オーミック電極作製のために、波長 800 nm、照射フルエンス 1.2~3.6 J/cm^2 のフェムト秒レーザー光を倒立光学顕微鏡に導入し、試料を走査して SiC 側から Ni と SiC との界面に照射した。フェムト秒レーザー光の照射後に、窒素雰囲気中において従来のアニール温度より低温の 900°C で 10 分間のアニール処理を行った。また、同様の試料の Ni/SiC 界面において波長 532 nm の励起光を用いラマン分光測定を行った。van der Pauw 法を用いた試料のホール測定においての印加磁場は 2000 Gauss であった。

図3にレーザーフルエンス 1.2~3.6 J/cm^2 で照射した試料の電気伝導特性を示す。未照射部、照射強度 1.2 J/cm^2 の電極は非線形特性であるのに対し、2.4 J/cm^2 以上の電極はオーミック特性を示していることがわかった。その原因としてフェムト秒レーザー照射によって、結晶に欠陥

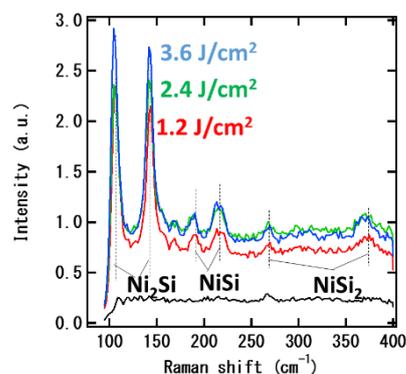


図4: SiC への界面照射と 900°C 熱アニールを行った後のラマンスペクトル

が生成され、界面にひずみ層が形成されたことに関係していると考えられる。そこで、この試料のラマン分光測定を行った。その結果を図4に示す。100 cm^{-1} と140 cm^{-1} 付近にNi₂Si由来、190 cm^{-1} と215 cm^{-1} 付近にNiSi由来、370 cm^{-1} 付近にNiSi₂由来として報告されているスペクトルとほぼ一致するピークが確認された。これはSiCを構成するSiがNi側まで拡散しニッケルシリサイドが形成され、オーミック特性の発現に寄与したと考えられる。ホール測定ではフェムト秒レーザー改質層の厚さを1 μm と仮定すると、比抵抗が $4.85 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$ 、キャリア密度が $3.1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 、移動度が410 cm^2/Vs であることが示された。キャリア密度は、未照射のキャリア密度よりも約3桁高くなっておりフェムト秒レーザー照射により形成された改質層にキャリアが多く存在することが明らかになった。これにより、フェムト秒レーザーによって作製された電極は従来と同程度の特性を示し、新規デバイスプロセスになる可能性を見出した。

(2)次に、SiCへの表面照射を検討した。先行研究のNi/SiC界面への照射では界面近傍だけでなく、SiC内部にも改質部が確認されたことから、接触抵抗が大きくなる可能性も考えられる。そこで、この問題を解決するため、フェムト秒レーザー照射によりSiC表面に改質層を導入した後、Niを蒸着させ、比較的低温(673K)でアニールを行うことにより、Ni/SiC界面改質部付近でのC、Ni及びSiの相互拡散が生じることを確認した。更に、fsレーザー光をSiC表面に対して高密度に照射することで改質層を導入し、同条件においてアニール後、NiとNi-Si相互拡散層の層間にC層が存在する層状構造が形成されることも確認している。Ni-Si相互拡散層にはショットキー障壁を低減させる化合物として知られるNiSi、Ni₂Siを検出した。

そこで、4H-SiC表面上の電極形成位置にのみフェムト秒レーザー光を高密度に照射した後にNiを蒸着し、低温アニールを行うことで電極を形成した。アニール前後の試料に対して2端子法を用いて電流-電圧測定を行い、電気伝導特性を評価した。さらに、Ni/SiC界面改質部付近で形成される相互拡散層を透過電子顕微鏡(TEM: Transmission Electron Microscope)を用いて評価した。

図5に400 $^{\circ}\text{C}$ でそれぞれ2min、8min、18minのアニール結果を、図6に500 $^{\circ}\text{C}$ で2min、8min、18minのアニール結果をそれぞれ示す。非照射電極の400 $^{\circ}\text{C}$ アニールではアニール保持時間に関係なくほぼ同様な非線形特性を示した。これは、SiCに接する相が熱処理前と同じNiのままであることを示している。一方、500 $^{\circ}\text{C}$ アニールではアニール保持時間を長くするにつれて、電流が流れない電圧範囲の縮小傾向が確認された。この結果より、レーザー照射しないNi/SiC界面では、電気伝導特性に変化を与える程度の界面拡散が500 $^{\circ}\text{C}$ 程度から始まるものと考えられる。

500 $^{\circ}\text{C}$ 、18min.アニールを行った電極から作製した断面TEM試料のSADP(selected area diffraction pattern)解析より、4H-SiC、Ni以外の規則的なスポットが含まれていた。これらのスポットはNi₂Si相由来であり、SiC(0001)面上にNi₂Si[03-1]//4H-SiC[11-20]の方位関係を持って存在していた。また、他にも、同定することは出来なかったが、Ni及びニッケルシリサイド系と推測されるスポットが観測された。

(3) p型窒化ガリウム(p-GaN)上にオーミック電極を形成するためには一般的に熱アニールやイオン注入を行う。一方で、我々はp-GaNへフェムト秒レーザー光を照射することでオーミック

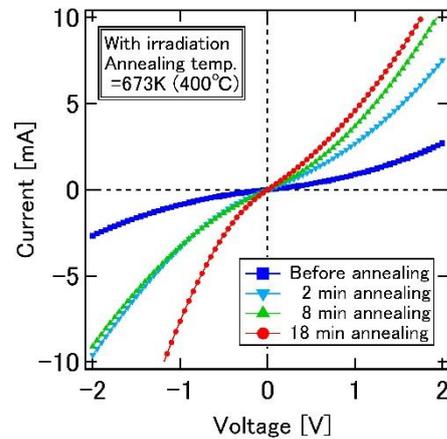


図5：フェムト秒レーザー光照射後、400 $^{\circ}\text{C}$ でアニールしたNi/SiC電極の電流電圧特性

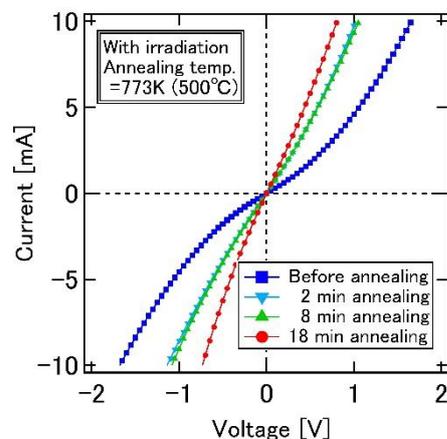


図6：フェムト秒レーザー光照射後、500 $^{\circ}\text{C}$ でアニールしたNi/SiC電極の電流電圧特性

電極の作製に成功した。この手法は、局所的なアニールが可能であり、空間選択性に優れているという特長がある。本研究では、照射方法や照射強度の観点から、フェムト秒レーザー照射によるオーミック接触の形成手法とそのI-V特性について研究した。

p-GaNエピタキシャル膜に波長800 nmのフェムト秒レーザー光を表面照射、界面照射、2通りの方法で照射した。レーザーの照射スポット半径は2.3 μm であり電極の大きさは、90 μm ×90 μm である。p-GaNと電極の接触部分全体を照射するため、スキャンしながら照射を行った。また、界面照射では60 mJ/cm^2 から361 mJ/cm^2 までフルエンスを変化させて照射を行った。

作製した電極の電気伝導度を評価するため、同じ照射強度で2つの電極を作製し、二探針法による電気伝導測定をおこなった。このとき、電圧を-10 ~+10 Vの範囲で、0.5 Vずつ変化させながら測定した。

図7に界面照射、表面照射の電流電圧特性測定結果を示す。表面照射((a))と界面照射((b))の双方において、オーミック特性を示すことが分かる。表面照射においては、120 mJ/cm^2 においてオーミック特性が確認され、抵抗値が $5.0 \times 10^3 \Omega$ まで減少したことが確認された。界面照射においては、120 mJ/cm^2 以上のフルエンスであればオーミック特性が得られており、オーミック接触の形成に対するフルエンスの許容範囲は大きいといえる。抵抗値は、未照射時には $2.6 \times 10^5 \Omega$ 以上であったが、361 mJ/cm^2 では $2.7 \times 10^3 \Omega$ まで減少することが確認され、フェムト秒レーザー照射によって低抵抗化されることが示された。

今回、表面照射と界面照射の両方においてオーミック電極作製することに成功した。これにより、GaNパワーデバイスの実現に必要な縦型デバイスの電極作製への応用が可能となった。今後、更なる低抵抗電極を実現できれば、GaNデバイスの性能向上へ大きく貢献することができるだろう。

<引用文献>

[1] T. Ueki, K. Morimoto, H. Yokota, T. Tomita and T. Okada: Application of femtosecond laser irradiation to low-temperature diffusion at the Ni/SiC interface, Appl. Phys. Express, Vol.8, 026503, 2015

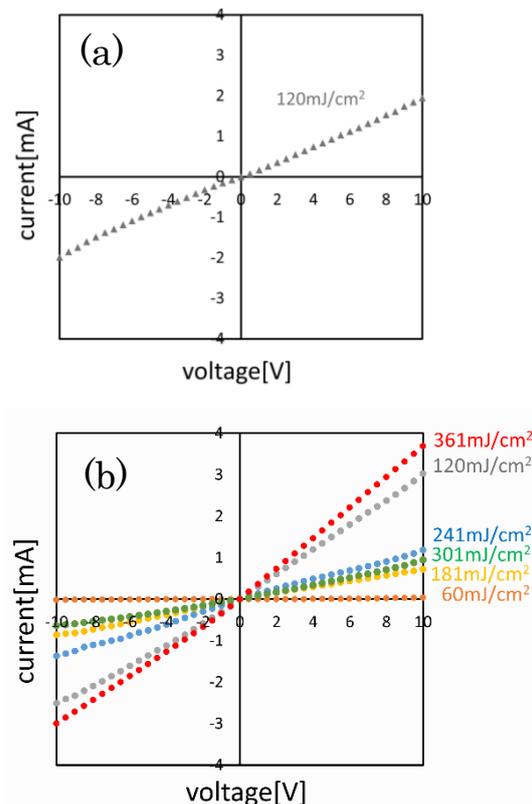


図7：電流電圧特性測定結果

(a)表面照射、(b)界面照射

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 1件）

1. 著者名 Okada Tatsuya, Tomita Takuro, Katayama Hiroyuki, Fuchikami Yuki, Ueki Tomoyuki, Hisazawa Hiromu, Tanaka Yasuhiro	4. 巻 125
2. 論文標題 Local melting of Au/Ni thin films irradiated by femtosecond laser through GaN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics A	6. 最初と最後の頁 690-1-690-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00339-019-2982-1	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 Okada Tatsuya, Tomita Takuro, Ueki Tomoyuki, Hashimoto Takuya, Fuchikami Yuki, Katayama Hiroyuki, Hisazawa Hiromu, Tanaka Yasuhiro	4. 巻 57
2. 論文標題 Femtosecond-laser-induced modifications on a 4H-SiC surface and their application to low-temperature diffusion at the Ni/SiC interface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 116501 ~ 116501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.116501	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 Kawakami Hiroki, Naoi Yoshiki, Tomita Takuro	4. 巻 8
2. 論文標題 Femtosecond laser-assisted thermal annealing of Ni electrode on SiC substrate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 065204 ~ 065204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5036804	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 Tatsuya Okada, Takuro Tomita, Tomoyuki Ueki, Yuki Masai, Yota Bando, and Yasuhiro Tanaka	4. 巻 56
2. 論文標題 Femtosecond-laser-induced modifications on the surface of a single-crystalline diamond	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 112701 (1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.112701	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 Tatsuya Okada, Takuro Tomita, Tomoyuki Ueki, Takuya Hashimoto, Hiroki Kawakami, Yuki Fuchikami, Hiromu Hisazawa, and Yasuhiro Tanaka	4. 巻 11
2. 論文標題 Low-temperature diffusion assisted by femtosecond laser-induced modifications at Ni/SiC interface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 016502 (1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.016502	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 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Tatsuya Okada, Takuro Tomita, Yuki Fuchikami, Yusaku Mizuo, Hiromu Hisazawa and Yasuhiro Tanaka
2. 発表標題 Formation of Ohmic Contact at Ni/SiC Interface with the Assistance of Femtosecond-Laser-Induced Modifications
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuro Tomita, Hiroki Kawakami and Yoshiki Naoi
2. 発表標題 Femtosecond laser irradiation aided low-temperature thermal anneal of Ni electrode on SiC
3. 学会等名 The 8th International Congress on Laser Advanced Materials Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 淵上 裕暉, 藪内 麻由, 宮本 美佑, 二村 大, 山口 誠, 岡田 達也, 富田 卓朗
2. 発表標題 走査型電子顕微鏡を用いたフェムト秒レーザー加工過程のパルス分解観察
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会 講演概要集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水尾 優作, 淵上 裕暉, 久澤 大夢, 富田 卓朗, 岡田 達也
2. 発表標題 SiC単結晶表面におけるフェムト秒レーザー照射誘起改質を応用したNi電極の作製
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第59回講演大会講演概要集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田 健介, 今垣 諒彌, 植木 智之, 久澤 大夢, 富田 卓朗, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 ダイヤモンド単結晶表面におけるフェムト秒レーザー照射誘起改質とTiの反応
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第59回講演大会講演概要集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水尾 優作, 淵上 裕暉, 富田 卓朗, 久澤 大夢, 岡田 達也
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射誘起改質を導入したSiC単結晶上Ni電極の特性評価
3. 学会等名 2019年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会講演予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Katayama, Yoshiki Naoi, Tatsuya Okada, Yasuhiro Tanaka and Takuro Tomita
2. 発表標題 Study of ohmic contact electrode on p-GaN using moderate crystal damage effect induced by femtosecond laser irradiation technique
3. 学会等名 International Workshop on Nitride Semiconductors 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki Katayama, Hiroki Kawakami, Yoshiki Naoi and Takuro Tomita
2. 発表標題 Femtosecond laser irradiation for the low contact resistance electrode fabrication on p-type gallium nitride
3. 学会等名 19th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片山 裕之, 直井 美貴, 岡田 達也, 田中 康弘, 富田 卓朗
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射による結晶改質がp-GaNへのオーミックコンタクトに与える影響
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水尾 優作, 淵上 裕暉, 富田 卓朗, 久澤 大夢, 岡田 達也
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射誘起改質を応用したNi/SiC界面における電極形成
3. 学会等名 2019年 第66回 応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 枝澤 光希, 浦西 将, 富田 卓朗, 西野 克志
2. 発表標題 AlN結晶のアニール処理による機械的ダメージの回復評価
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 富田 卓朗, 竹中 一将, 板東 洋太, 滝谷 悠介, 山口 誠, 田中 康弘, 中島 信一, 岡田 達也
2. 発表標題 表面局在した格子振動に由来するSiCのラマンスペクトル
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淵上 裕暉, 植木 智之, 富田 卓朗, 久澤 大夢, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射改質の導入によるNi/SiC界面のNiシリサイド形成
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第58回講演大会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今垣 諒彌, 植木 智之, 富田 卓朗, 久澤 大夢, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 ダイヤモンド表面へのフェムト秒レーザー照射改質の導入によるTi/ダイヤモンド界面反応
3. 学会等名 日本金属学会中国四国支部第58回講演大会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今垣 諒彌, 植木 智之, 富田 卓朗, 久澤 大夢, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射改質を導入したダイヤモンド表面へのTi蒸着
3. 学会等名 2018年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淵上 裕暉, 植木 智之, 富田 卓朗, 久澤 大夢, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 4H-SiC表面へのフェムト秒レーザー照射改質導入によるNi/SiC界面反応の促進
3. 学会等名 2018年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会講演予稿集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Kawakami, Yoshiki Naoi and Takuro Tomita
2. 発表標題 Formation of Ni ohmic electrode on SiC by femtosecond laser irradiation associated with thermal annealing
3. 学会等名 International Workshop on UV Materials and Devices 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroyuki Katayama, Yuuki Yamasaki, Hiroki Kawakami, Yoshiki Naoi and Takuro Tomita
2. 発表標題 Annealing of Ni/Au electrode on p-GaN by femtosecond laser irradiation
3. 学会等名 International Workshop on UV Materials and Devices 2017, We-P3, Fukuoka, Nov. 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮本 美佑, 富田 卓朗
2. 発表標題 走査型電子顕微鏡内でのフェムト秒レーザー光照射光学系の構築
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川上 博貴, 直井 美貴, 富田 卓朗
2. 発表標題 ホール測定によるNi/SiC界面に形成されたフェムト秒レーザー改質層の電気特性評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片山 裕之, 川上 博貴, 今垣 諒彌, 橋本 拓哉, 山口 誠, 田中 康弘, 直井 美貴, 岡田 達也, 富田 卓朗
2. 発表標題 p-GaN上オーミック電極形成のためのフェムト秒レーザー照射方法の検討
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 淵上 裕暉, 橋本 拓哉, 川上 博貴, 植木 智之, 富田 卓朗, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 フェムト秒レーザー誘起改質を応用したNi/SiC界面における低温拡散
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹中 一将, 板東 洋太, 滝谷 悠介, 山口 誠, 田中 康弘, 中島 信一, 岡田 達也, 富田 卓朗
2. 発表標題 サブミクロン厚4H-SiCにおけるラマンスペクトルの極性面依存性
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹中 一将, 板東 洋太, 滝谷 悠介, 山口 誠, 田中 康弘, 中島 信一, 岡田 達也, 富田 卓朗
2. 発表標題 SiCのサブミクロン厚領域におけるラマンスペクトルの数値計算
3. 学会等名 第28回光物性研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹中 一将, 板東 洋太, 滝谷 悠介, 山口 誠, 田中 康弘, 中島 信一, 岡田 達也, 富田 卓朗
2. 発表標題 サブミクロン厚SiCにおける極性面に依存したラマンスペクトル
3. 学会等名 先進パワー半導体分科会第4回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上 博貴, 直井 美貴, 富田 卓朗
2. 発表標題 SiC と金属の界面におけるフェムト秒レーザー照射支援アニール
3. 学会等名 先進パワー半導体分科会第4回講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川上 博貴, 直井 美貴, 富田 卓朗
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射により作製したSiC上Ni電極の電気特性評価
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 二村 大, 川上 博貴, 植木 智之, 富田 卓朗, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 ダイヤモンド単結晶表面へのフェムト秒レーザー照射による改質導入
3. 学会等名 日本金属学会第57回中国四国支部講演大会講演概要集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 二村 大, 川上 博貴, 植木 智之, 富田 卓朗, 岡田 達也, 田中 康弘
2. 発表標題 ダイヤモンド単結晶表面におけるフェムト秒レーザー照射誘起改質
3. 学会等名 2017年度応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会講演概要集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 富田 卓朗
2. 発表標題 フェムト秒レーザー照射による半導体デバイス作製にむけて
3. 学会等名 第十一回紀州吉宗セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

徳島大学教育研究者総覧
<http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/82121/profile-ja.html>

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	岡田 達也 (OKADA Tatsuya) (20281165)	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授 (16101)	
研究分担者	直井 美貴 (NAOI Yoshiki) (90253228)	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授 (16101)	
研究分担者	山口 誠 (YAMAGUCHI Makoto) (90329863)	秋田大学・理工学研究科・准教授 (11401)	