

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14194

研究課題名（和文）グラファイト状窒化炭素膜の半導体素子への展開

研究課題名（英文）Semiconductor device of graphitic carbon nitride film

研究代表者

浦上 法之（Urakami, Noriyuki）

信州大学・学術研究院工学系・助教

研究者番号：80758946

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：貴金属や毒性元素を用いない電気電子材料は、元素戦略の観点から注目を集めている。層状窒化炭素は、半導体性質を有した機能性材料である。その電荷輸送特性が明らかにされているが、電気電子素子への展開を見据えた技術階層に到達していない。本研究では、層状窒化炭素の電荷輸送特性を利用した電気電子素子を実証することを目的とした。層の積層方向に沿った電荷輸送と金属-半導体における界面制御を利用したダイオードを作製できた。層の面内方向に沿った電荷輸送の制御に成功し、ノーマリーオフ動作が可能な電界効果素子も作製できた。以上から、層状窒化炭素による電気電子素子を志向した基礎的な知見を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

層状物質からなる二次元材料は、次々世代における電気電子素子の材料として有望であり精力的に研究が行われている。本研究で見出した窒化炭素によるノーマリーオフ動作は、材料固有の性質を利用した新たな動作原理を示す電気電子素子の創製に繋がると考えられる。ま単純な素子構造によりノーマリーオフ動作が可能であることから、二次元材料からなる電解効果トランジスタや物理/化学センサの低消費電力化が実現可能になる可能性を秘めている。

研究成果の概要（英文）：Metal-free and/or non-toxic electronic materials have received considerable attention in term of element strategy. Layered carbon nitride is a functional material with semiconducting properties. Although its charge transport properties have been understood, it has not yet reached the technological hierarchy for deployment in electronic devices. In this study, electronic devices based on the charge transport properties of layered carbon nitride were demonstrated. A diode was fabricated utilizing the out-of-plane transport property and the interface control between metal and semiconductor. The charge transport along the in-plane direction was controlled, and a field-effect device was also fabricated with a normally off switching. These results are suggested that basic knowledges of layered carbon nitride toward to applications of electronic devices.

研究分野：電気電子材料工学

キーワード：窒化炭素 半導体 ダイオード 電界効果

1. 研究開始当初の背景

人と電子材料が共創する社会を目指し、例えばライフサイエンスとの異分野融合の架け橋となる革新的素子への要請が高まっている。特に医学や農業科学などに適合する素子の実現に向けては、人や自然への調和性を実現する元素戦略が重要であり、毒性を含む元素の使用や化学安定性などへの配慮が必要である。

本研究では、炭素(C)と窒素(N)のみから構成される環境に調和する材料として層状窒化炭素($g-C_3N_4$)に着目する。その結晶構造は六員環を基本とした安定な層状物質であり、膜状のものは転写技術を利用して柔軟性のある基板への配置も可能である。 $g-C_3N_4$ の電子構造は、バンドギャップエネルギー(E_g)が2.8 eVの半導体である。 $g-C_3N_4$ は600°C程度で化学気相堆積(CVD)により、安価な原料(5000円/kg)で容易に結晶性薄膜を作製可能である。研究代表者は、配向制御された $g-C_3N_4$ 膜のキャリア輸送特性を検討し、結晶方位に依存した電流異方性を明らかにした(図1)。層の積層方向に沿った電流はある程度の抵抗を有する半導体のそれと類似の性質であることから、層の表と裏に電極を配置した縦型電子素子としてダイオードへ展開できる。

その一方で、面内方向に沿った電流は測定器の検出限界(<pA)以下であった。この面内方向の高抵抗化は結晶構造に由来してキャリアが局在することに起因しており、 $g-C_3N_4$ 膜の固有の性質である。この評価は面内方向に2端子電極を形成して実施されているが、この構造を電界効果トランジスタ(FET)のソース-ドレインとみなすと、ゲート電圧の印加なしでは電流が流れないノーマリーオフ状態とみなすことができ、キャリアの非局在化と界面への蓄積を誘起することができればノーマリーオフ型電界効果トランジスタ(FET)へ展開できる。

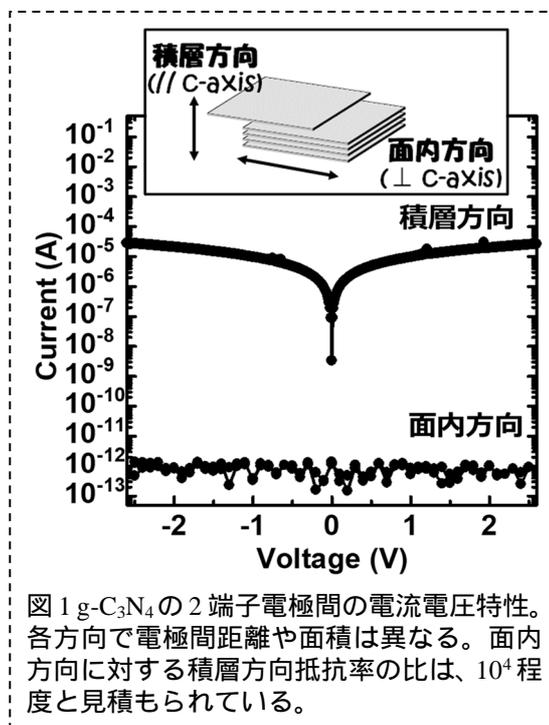


図1 $g-C_3N_4$ の2端子電極間の電流電圧特性。各方向で電極間距離や面積は異なる。面内方向に対する積層方向抵抗率の比は、 10^4 程度と見積もられている。

2. 研究の目的

これまでに検討されてきた $g-C_3N_4$ は、その結晶形態が粉末状の多結晶またはアモルファスであるため、半導体材料としての実績は殆どなく特に電子素子への展開を目指した検討例は極めて少ない。したがって $g-C_3N_4$ の電子素子への展開を目指すためには、素子構造を適切に設計・製作する技術とそのキャリア輸送制御特性の正しい理解が必要不可欠である。本研究では、配向制御された $g-C_3N_4$ の結晶方位に依存した電流異方性に着目し、それを利用した新しい半導体電子素子の開発および実証に取り組んだ。

3. 研究の方法

$g-C_3N_4$ 薄膜はメラミン($C_3N_6H_6$)を前駆体として用いた熱化学気相堆積(CVD)法により作製した(図2)。p型およびn型伝導の薄膜を作製するために、堆積中の雰囲気ガスを窒素および酸素含有窒素ガスとした。

その後、 $g-C_3N_4$ が層状物質であることを利用して薄膜を剥離し、それを任意の位置に転写により配置した。電極の作製には、一般的なフォトリソグラフィとリフトオフ工程を利用した。

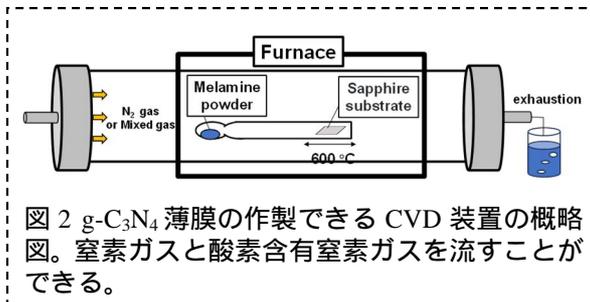


図2 $g-C_3N_4$ 薄膜の作製できるCVD装置の概略図。窒素ガスと酸素含有窒素ガスを流すことができる。

4. 研究成果

初めに、縦型電子素子としてショットキーバリアダイオードを作製した。検討していた当初は、p型伝導の $g-C_3N_4$ 薄膜しか作製できていなかったため、それを用いた。絶縁性基板上にオーム性接触の金電極を形成し、その上に剥離膜を転写後、ショットキー接触のクロム電極を蒸着した。その電流電圧特性は典型的な整流特性を示し、ダイオード特性を得ることができた。金属-半導体の界面におけるバンドアライメントの制御が $g-C_3N_4$ 薄膜においても実現可能であることが分かった。

次に、面内方向に沿う電荷輸送の制御と電流を得るための原理開拓を検討した。配向制御された $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜は、積層方向には電荷が移動でき電流が得られるが、面内方向には電荷が移動できず電流は得られない。そこで $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜に金属-絶縁体-半導体(MIS)構造を適用し、「絶縁体-半導体の界面付近に電流を担う電荷の輸送を制限するエネルギー状態の数を超えて電荷を蓄積させることができれば、面内方向に対して自由な電荷を存在させることができ電流に寄与させることができる」という仮説を立てた。絶縁性基板上に剥離膜を転写後、2端子素子を作製するようにオーム性接触の金電極を形成した。次に、絶縁性ポリマーのポリパラキシレン(パリレンC)を堆積後、その上に電極を配置し MIS 構造を作製した。MIS 構造 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜の積層方向に絶縁体を介して電圧(V_g)を印加しながら面内方向にも電圧を印加したところ、 V_g が負の時に電流を得ることができ、さらに大きな負の V_g を印加したときに電流が増加した(図3)。この $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜は正孔が電流に寄与する p 型半導体であることが積層方向の電荷伝導にて明らかであったため、正孔が界面に蓄積されて電流が流れた p 型チャンネル動作が裏付けられた。また OFF 時 ($V_g = 0$ V)の電流が単膜の場合と同程度であることから(図3の青プロット)、絶縁体-半導体の界面における捕獲準位を介した電荷伝導でないことも示唆されている。以上から、この結果は提案者が立てた仮説を立証できたことに加えて、 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜の材料性質を利用した新原理ノーマリーオフ型電子素子の実現可能性を後押ししている。

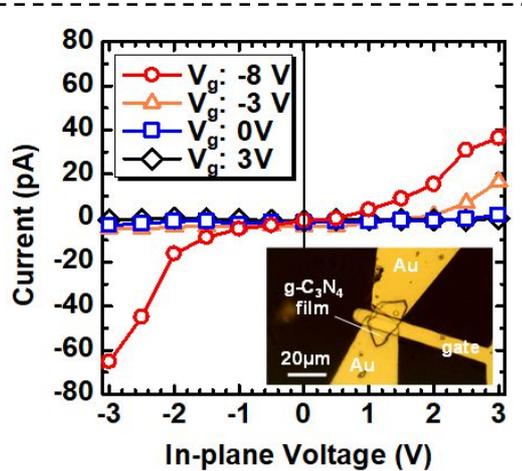


図3 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ チャンネル MIS 構造電子素子の面内方向電流の V_g 依存性。挿入図は作製した MIS 構造であり、絶縁体は透明な高分子であるパリレンCを用いている。

ゲート絶縁体に高誘電を有する酸化ジルコニウム(ZrO_x)を採用し、ノーマリーオフ動作が可能な電荷輸送の制御性を実証した。薄膜は窒素ガス雰囲気にて作製し、p 型伝導のものを用いた。ゲート絶縁体に ZrO_x を用いたチャンネル長 $8.2 \mu\text{m}$ 、チャンネル幅 $10.1 \mu\text{m}$ 、 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 膜厚 69 nm 、絶縁膜厚 100 nm のトップゲート型 p チャンネル MIS 構造電子素子を作製した(図4(a))。出力特性および伝達特性を図4(b)および(c)に示す。 V_{gs} の印加なしに電流が流れないノーマリーオフ動作を実証することができた。また、負のゲート電圧 V_{gs} を印加した場合、負のドレイン電流 I_{ds} が増加する p 型半導体の様相を FET 特性により得ることができた。 V_{gs} を印加しない場合、 I_{ds} は図1における面内方向の電流電圧特性と同様である。負の V_{gs} を印加することにより、絶縁体/半導体界面に p 型半導体の多数電荷である正孔を蓄積できる。電荷輸送を制限する捕獲準位の状態密度を超えてこの正孔を蓄積できたことから、それらを自由な電荷として存在させることができ、その輸送を電流として検出することができたと考えられる。その一方で、正の V_{gs} を印加した場合、正の I_{ds} を得た。これは対照的に、絶縁体/半導体界面に n 型半導体の多数電荷である電子が蓄積し、それによる電流が流れたためである。これはアンバイポーラ特性と呼ばれる FET 特性であり、多数電荷濃度が比較的少ない材料においてみられる。本研究結果により、不純物添加をしていない p 型 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜は、アンバイポーラ特性を示すことを初めて実証した。

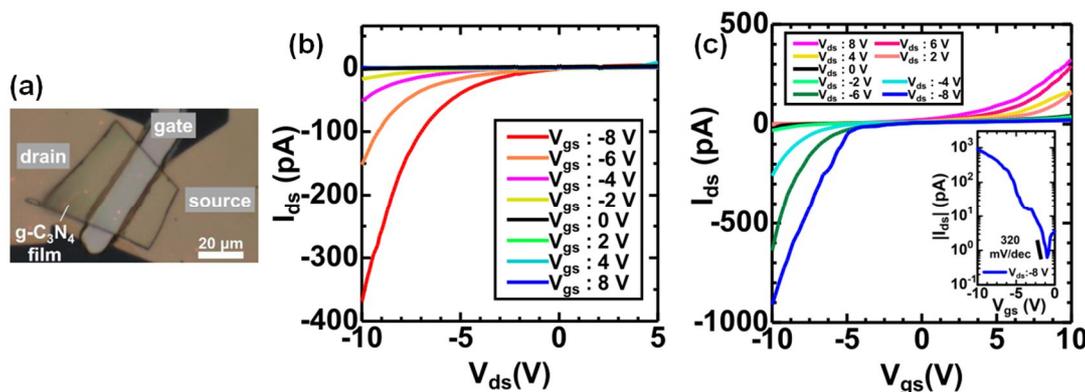


図4 窒素ガス雰囲気下にて作製した $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜をチャンネルに用いたトップゲート型 MIS 構造電子素子の(a)光学顕微鏡像、(b) 出力特性および(c) 伝達特性。挿入図は、伝達特性の片対数表示を示している。

酸素混合窒素ガス雰囲気にて作製した n 型伝導の薄膜についても同様の検討を実施した。ゲート絶縁体に ZrO_x を用いたチャンネル長 6.5 μm 、チャンネル幅 21 μm 、 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 膜厚 400 nm、絶縁膜厚 100 nm のトップゲート型 n チャンネル MIS 構造 FET を作製した(図 5 (a))。出力特性および伝達特性を図 5 (b)および(c)に示す。先述の p チャンネル素子と同様に、 V_{gs} の印加なしに電流が流れないノーマリーオフ動作を実証することができた。また、正のゲート電圧 V_{gs} を印加した場合、正のドレイン電流 I_{ds} が増加する n 型半導体の様相を FET 特性により得ることができた。p 型と n 型で電流に寄与する電荷の種類は異なるが、同様の動作原理による電界効果素子を実現できたといえる。それに加えて、n 型チャンネルにおいても、負の V_{gs} を印加した場合に負の I_{ds} を得ることができた。これは p 型チャンネルで見られたアンバイポーラ特性が n 型チャンネルでも見られたことを示しており、両極性伝導が p 型および n 型チャンネルの両方で観測可能であることが分かった。

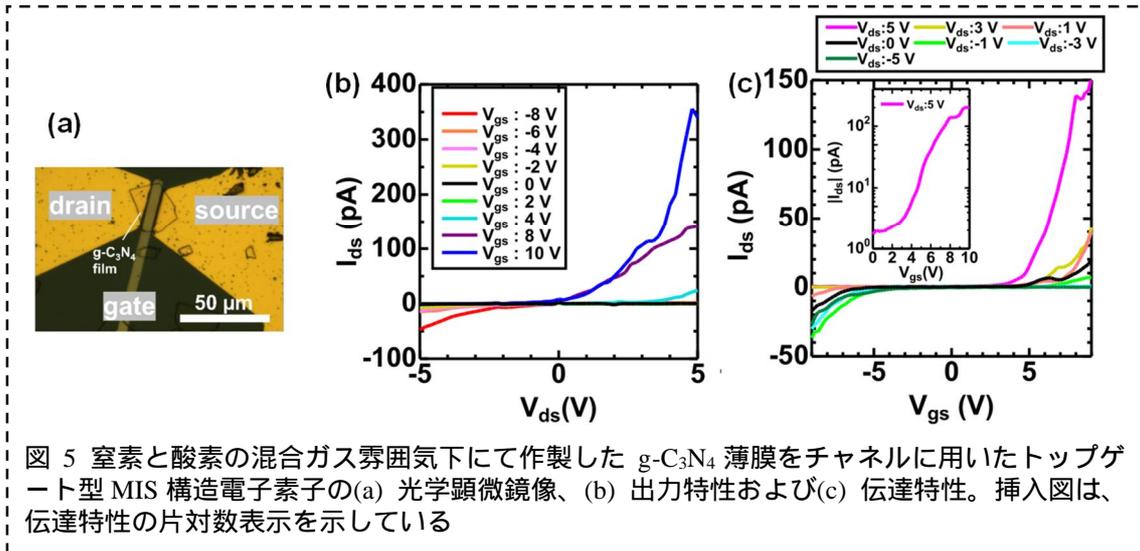


図 5 窒素と酸素の混合ガス雰囲気下にて作製した $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜をチャンネルに用いたトップゲート型 MIS 構造電子素子の(a) 光学顕微鏡像、(b) 出力特性および(c) 伝達特性。挿入図は、伝達特性の片対数表示を示している

C-V 測定は、MIS 界面における電荷の挙動を観察するための有効な評価手法である。図 6 に、p 型 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜を用いた MIS 構造における C-V 特性を示す。p 型薄膜であるにも関わらず正と負のそれぞれの V_{gs} で C は増加した。p 型チャンネルでは負の V_{gs} を印加すると正孔が蓄積し、その一方で n 型チャンネルでは正の V_{gs} を印加すると電子が蓄積するため、それぞれ C は増加する。そのため、本検討で得られた特性はアンバイポーラ特性を示していることを示唆しており、図 4 および図 5 に示した FET 特性を支持する結果になった。本検討で用いた薄膜の導電性は p 型であるが、正孔濃度が低いことから Fermi 準位がエネルギーバンドギャップの中央付近に位置している可能性が高い。その結果、p 型薄膜の多数電荷の正孔の輸送だけでなく少数電荷の電子の輸送の制御も可能になったと考えられる。以上の取り組みにより、 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 薄膜をチャンネルに用いた MISFET 構造は、ノーマリーオフ動作可能な電子素子を実現可能であることを実証した。

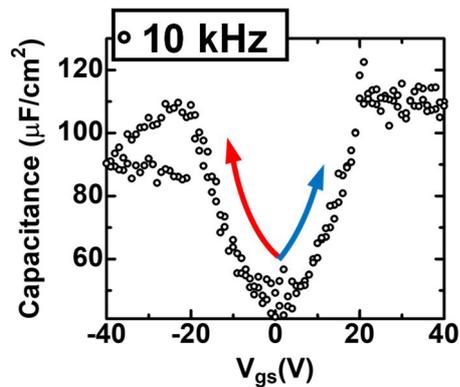


図 6 p チャンネル MIS 構造の C-V 特性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Higuchi Kota, Tachibana Masaki, Urakami Noriyuki, Hashimoto Yoshio	4. 巻 14
2. 論文標題 Layered carbon nitride films deposited under an oxygen-containing atmosphere and their electronic properties	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 25047
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0193419	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 Urakami Noriyuki, Fukai Masaya, Hashimoto Yoshio	4. 巻 207
2. 論文標題 Schottky barrier diode consisting of van der Waals heterojunction of MoS ₂ film and PtCoO ₂ contact	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Solid-State Electronics	6. 最初と最後の頁 108685 ~ 108685
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sse.2023.108685	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 Kagami Shu, Urakami Noriyuki, Suzuki Yuichiro, Hashimoto Yoshio	4. 巻 24
2. 論文標題 Solid-source vapor growth and optoelectronic properties of arsenic-based layered group-IV monpnictides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 4085 ~ 4092
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/d2ce00302c	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 Takeuchi Hayate, Urakami Noriyuki, Hashimoto Yoshio	4. 巻 33
2. 論文標題 Oxidation of tantalum disulfide (TaS ₂) films for gate dielectric and process design of two-dimensional field-effect device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 375204 ~ 375204
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6528/ac75f9	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 Urakami Noriyuki, Takashima Kensuke, Shimizu Masahiro, Hashimoto Yoshio	4. 巻 25
2. 論文標題 Thermal chemical vapor deposition of layered carbon nitride films under a hydrogen gas atmosphere	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 877 ~ 883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ce01515c	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 Urakami Noriyuki, Ogihara Kohei, Futamura Hatsuiki, Takashima Kensuke, Hashimoto Yoshio	4. 巻 11
2. 論文標題 Demonstration of electronic devices in graphitic carbon nitride crystalline film	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 075204 ~ 075204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0055141	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 Fukai Masaya, Urakami Noriyuki, Hashimoto Yoshio	4. 巻 11
2. 論文標題 Electrical Properties in Ta ₂ NiSe ₅ Film and van der Waals Heterojunction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coatings	6. 最初と最後の頁 1485 ~ 1485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/coatings11121485	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37件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Noriyuki Urakami, Kensuke Takashima, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Layered Carbon Nitride Films Deposited under Hydrogen Gas Atmosphere
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week (CSW) 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaki Tachibana, Noriyuki Urakami, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Carrier Transport Properties of Layered Carbon Nitride Films for Electronic Devices Applications
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week (CSW) 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kota Higuchi, Noriyuki Urakami, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Chemical vapor deposition of layered carbon nitride films under oxygen-containing atmosphere
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 脩, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 化学量論組成が窒素過剰な層状窒化炭素薄膜の作製
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 樋口 航太, 橋 昌希, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 酸素含有雰囲気下での層状窒化炭素膜の作製とその電気的特性への効果
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 橘 昌希, 樋口 航太, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 窒化炭素膜によるリングゲート型電界効果トランジスタの作製
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 栗本 菜津子, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 リン添加層状窒化炭素膜の化学気相成長
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 尾崎 匠, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 積層構造による 相セレン化インジウムの電气的特性の評価
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 蓮見 歩太, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 層状ヒ化ゲルマニウム膜の酸化による膜厚制御
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 上條 雄登, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 二次元物質の積層による多層膜構造の設計と作製
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 栗本 菜津子, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 リン添加層状窒化炭素膜の電子輸送
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 佐々木 脩, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 窒素過剰層状窒化炭素膜の構造分析
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 尾崎 匠, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 相セレン化インジウムの電気的特性
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 浦上 法之, 中蔵 真也, 橋本 佳男
2. 発表標題 層状セレン化ガリウムによる光検出器アレイの作製
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 浦上 法之, 高島 健介, 橋本 佳男
2. 発表標題 水素雰囲気下での層状窒化炭素膜の作製
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 橋 昌希, 樋口 航太, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 窒化炭素膜による電界効果トランジスタの作製
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 田村 圭伍, 大南 乃綾, クコバット ラドバン, 浦上 法之, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 金子 克美
2. 発表標題 ベンジルピオロゲン分子を用いたn型CNT薄膜の作製
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 樋口 航太, 橋 昌希, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 n型グラファイト状窒化炭素と縦型電子素子の検討
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 橋 昌希, 樋口 航太, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 層状窒化炭素膜による電界効果素子の作製
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 中蔵 真也, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 セレン化ガリウムを用いた光検出器の配列工程の検討
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 尾崎 匠, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 物理気相成長による $\text{-In}_2\text{Se}_3$ 膜の作製
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 加々美 朱羽, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 層状ヒ化ゲルマニウムの二次元材料としての評価
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 Shu Kagami, Noriyuki Urakami, Yuichiro Suzuki, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Synthesis and Properties of Arsenic-Based Layered Group-IV Monopnictides for Novel Two-Dimensional Materials
3. 学会等名 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加々美 朱羽, 鈴木 裕一郎, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 ヒ素系層状IV-V族化合物の作製
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中蔵 真也、浦上 法之、橋本 佳男
2. 発表標題 硫化セレン化ガリウム混晶の光伝導効果
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内颯, 浦上法之, 橋本佳男
2. 発表標題 プラズマ処理による二硫化タantalの選択的酸化と2D-FETゲート誘電体応用の検討
3. 学会等名 令和3年度 応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦上法之, 高島健介, 橋本佳男
2. 発表標題 層状構造を有する窒化炭素膜の化学気相堆積
3. 学会等名 電子情報通信学会電子部品・材料研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuma Tsuboi, Noriyuki Urakami, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Emission-color conversion of blue micro light-emitting diode using 2D and 3D layered materials
3. 学会等名 The 12th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hayate Takeuchi, Noriyuki Urakami, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Oxidation of TaS ₂ for high-k gate dielectric of 2D FET
3. 学会等名 The 12th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坪井 佑篤, 浦上 法之, 橋本 佳男, 上野 啓司
2. 発表標題 二次元材料の超格子構造による発光色変換膜の作製
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加々美 朱羽, 鈴木 裕一郎, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 層状ヒ化シリコン膜の作製と評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深井 雅也, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 Ta ₂ NiSe ₅ における電気的特性の検討
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田村 圭伍, 西澤 貴史, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 浦上 法之, クコバット ラドバン, 金子 克美
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブインクを用いたp-n接合ダイオードの試作と検討
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内 颯, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 二硫化タンタルの酸化によるゲート誘電体を用いたFETの作製
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島 健介, 浦上 法之, 橋本 佳男
2. 発表標題 異なる雰囲気下での層状窒化炭素膜の成長
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kensuke Takashima, Kohei Oghihara, Hatsuki Futamura, Noriyuki Urakami, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Carrier transport characteristic of crystalline graphitic carbon nitride film
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaya Fukai, Noriyuki Urakami, Yoshio Hashimoto
2. 発表標題 Electronic properties and heterojunction formation of Ta ₂ NiSe ₅
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

浦上法之 https://researchmap.jp/noriyuki-urakami/presentations 浦上法之 https://soar-rd.shinshu-u.ac.jp/profile/ja.HFkUbUkh.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
---------------------------	-----------------------	----

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