

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18913

研究課題名（和文）モアレ超格子を利用した ファンデルワールスエピタキシー技術の開拓

研究課題名（英文）Study of van der Waals epitaxy using moire super lattice

研究代表者

毛利 真一郎（MOHRI, SHINICHIRO）

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：60516037

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、『モアレ超格子』と呼ばれる長周期のポテンシャル変調構造を駆動力とすることでファンデルワールスエピタキシーにおける結晶品質の改善を目指した。本研究により、ツイスト2層グラフェン上での窒化物半導体結晶成長において、積層角度により、核生成密度や成長結晶の大きさに違いがあることがわかってきた。また、金属蒸着の実験でも、積層後のフォノン物性の変化に積層角度による違いがみられることから、蒸着のメカニズムが積層角度によって違うことが示唆される結果が得られている。また、高品質グラフェンを用いたリモートヘテロエピタキシーにより剥離可能なGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やInGa<sub>N</sub>を合成することにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

情報化社会のさらなる進展に伴い、半導体回路の立体周期が求められている。その中で、電力変換や高速データ処理に必要な化合物半導体を自在に剥離、転写する技術の確立は大きな意義を持つ。本研究で進めるグラフェン上のファンデルワールスエピタキシーはその中核技術として期待されている。本研究で、積層角度の自由度が結晶成長に与える可能性を示すことができた点は、ファンデルワールスエピタキシーにおける困難である配向制御につながる点で大きな意味があると考えられる。また、リモートエピタキシーにより剥離できる窒化物半導体や窒化物半導体の合成に成功した点も、今後のデバイス応用の可能性を広げる成果である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we try to improve the crystal quality in van der Waals epitaxy by utilizing the long-period potential modulation structure called "moire superlattice." Through this research, it has been found that there are differences in nucleation density and the size of the grown crystals depending on the stacking angle when we grow nitride semiconductors on graphene moire super lattice. Additionally, experiments with metal deposition also show that there are differences in the changes in phonon properties after stacking depending on the stacking angle, suggesting that the deposition mechanism varies with the stacking angle. Furthermore, we have successfully synthesized peelable Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and InGa<sub>N</sub> through remote heteroepitaxy using high-quality epitaxial graphene.

研究分野：ナノ材料物性

キーワード：モアレ超格子 ファンデルワールスエピタキシー リモートエピタキシー 窒化物半導体 グラフェン  
窒化物半導体

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

化合物半導体の結晶成長において、基板との格子整合を満たすかどうかは非常に重要な要素となる。格子不整合が大きい場合、転位などの欠陥増加や組成不均一などが生まれるため、成長される半導体結晶は実用性の低いものとなる。従って、良質な結晶成長を実現できる基板材料は限られるのが現状である。

ダングリングボンドを持たないグラフェン上の結晶成長（ファンデルワールスエピタキシー）では、従来の半導体エピタキシャル成長と異なり、格子整合の制約を受けにくい特徴があり、ここ数年盛んに研究されている[1]。成長結晶が容易に剥離できる点も魅力で、従来組み合わせが難しかった材料とのヘテロ構造化を可能にする点でも魅力的な技術である。

一方で、核生成の制御や面内方向の拡散を制御することが難しいという問題点がある。成長結晶の方位をそろえることが容易でなく、結晶品質の点ではさらなる向上が求められている。基板ポテンシャルを活用したりモートエピタキシーと呼ばれる方法が提案されている[2]が、効果は同種の材料に限られており、さらなる積極的な制御手法の開拓が必要となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、グラフェンを2枚重ねた際に生じる『モアレ超格子』と呼ばれる長周期のポテンシャル変調構造を駆動力とすることで上記困難を克服することを目指す。グラフェン同士や基板とグラフェンとの積層角度を変えることで、モアレ超格子の周期やポテンシャル高さを制御し、吸着（核生成）や原子マイグレーションなどの結晶成長因子を制御することが可能かどうかを検証した。

## 3. 研究の方法

### (1) 架橋ツイストグラフェンプラットフォームを活用した MBE 法による結晶成長

具体的手法としては、TEM グリッド上に、CVD 法などで作製した原子層材料を、PMMA を用いた wet プロセスで2枚順次転写することで架橋ツイストグラフェンを作製し、基板の影響を排してツイスト角度の変化に依存した結晶成長が行えるプラットフォームを構築した。

TEM グリッドには、図 1(a)に示すように、直径 5  $\mu\text{m}$  の孔が多数整列しており、図 1(b)のように TEM 電子線回折パターンを観察することで、各孔での積層角度を決定することができる。原子層材料のドメインは $\sim 10 \mu\text{m}$  四方程度であることから、一つのグリッド上に積層角度の異なる孔を複数用意できる点がこの手法のメリットである。このような方法で用意した TEM グリッドを基板に固定し、MBE 装置に投入し、窒化物半導体結晶成長や金属蒸着（インジウムやガリウム）を行った。孔の位置を座標化して記録することで、同じ孔に対して TEM による積層角度の決定と成長後の観察や物性評価ができる点がこの系の特徴である。得られた試料に対し電子顕微鏡やラマン分光を用いて観察・評価し、積層角度の違いが結晶成長にどう影響するかを調べた。

### (2) 高品質エピタキシャルグラフェンを利用したりモートヘテロエピタキシーの研究

基板とグラフェンとの間にもモアレ関係が生じる可能性がある。そこで、基板の上に、図 1(c)のようにグラフェンを1層ないし2層のグラフェンを PMMA を用いた wet process で転写し、その上に MBE 法やミスト CVD 法を用い、それぞれ、窒化物半導体、酸化物半導体の結晶成長を行った。グラフェンとしては、ドメインサイズが大きい高品質な銅(111)面上にエピタキシャル成長したグラフェン（二次元材料研究所作製）を用い、それを wet プロセスで順次転写することで用意した。作製した試料は剥離が可能であり、他の基板上に転写した上で顕微鏡観察や物性評価を行った。

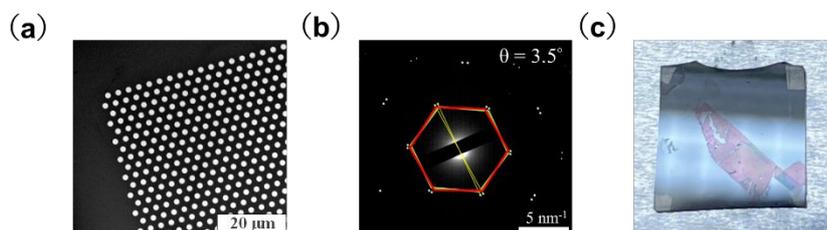


図 1 (a) 使用したグリッドの電子顕微鏡像(b)ツイスト架橋 2 層グラフェンの TEM 電子線回折パターン(c)基板上に転写したグラフェンの光学顕微鏡像(PMMA がついているため、グラフェンを可視化できている)

### (3) その他

Wet プロセスで用意した試料は、しわなどが残る上にとりどころ欠陥も見られるのが現状である。しわや欠陥は核生成サイトとなるため、モアレ超格子が結晶成長に与える影響を調べる際には極力少ない方がよい。そこで、これらの基板上にグラフェンや MoS<sub>2</sub> などの原子層材料を直接成膜することを目指した研究も進めた。また、通常基板への窒化物半導体や酸化物半導体の結晶成長や物性評価についての研究も行った。

### 4. 研究成果

(1) 架橋ツイストグラフェンプラットフォームを活用した MBE 法による結晶成長、金属ナノ粒子蒸着

図 2(a),(b)に示すように、架橋ツイストグラフェン上に MBE で窒化物半導体 InN を結晶成長することができた。上記に示した研究では、100 nm 前後のサイズのナノ結晶が得られているが、これは、基板上に担持したグラフェンと同じ条件で成長させた場合と同様の結果となっている。積層角度が 2° である場合 (図 2(a)) は核生成密度が高く結晶サイズが小さめであるのに対し、積層角度が 28° と大きい場合 (図 2(b)) は核生成密度が小さくなり、結晶サイズが大きくなることが分かった。

図 2(c)には、架橋ツイストグラフェン上に MBE 装置を用いて金属ガリウムを蒸着させた際の TEM 像である。蒸着時間を制御することで 10 ~ 100 nm 前後の直径金属ガリウムが 10<sup>8</sup> cm<sup>-2</sup> 程度の密度で蒸着されている。図 2(d)からわかるように、積層角度によってラマンシフトのふるまいに違いがみられることがわかる。積層角度が低い領域では、もともと試料に引っ張りひずみが入っており、それが蒸着により緩和され、G モード、2D モードとも高波数方向にシフトする。一方で、積層角度の中程度の試料では、単純に蒸着による曲率の変化が引っ張りひずみをもたらし、G,2D ピークともラマンシフトが低波数側にシフトする。さらに、30°に近い積層角度では、ひずみの変化に加え電子状態の変化があるため、2D モードのみが低波数方向にシフトし、G モードの変化は小さいことがわかる。これらの結果は、積層角度によって金属ガリウムの蒸着に大きな違いがあることを示唆している。

上記に示すように、積層角度によって結晶成長や金属蒸着に差異があることが示された。一方で、その原因については現段階でまだはっきりと特定できておらず、引き続き研究を進めている。

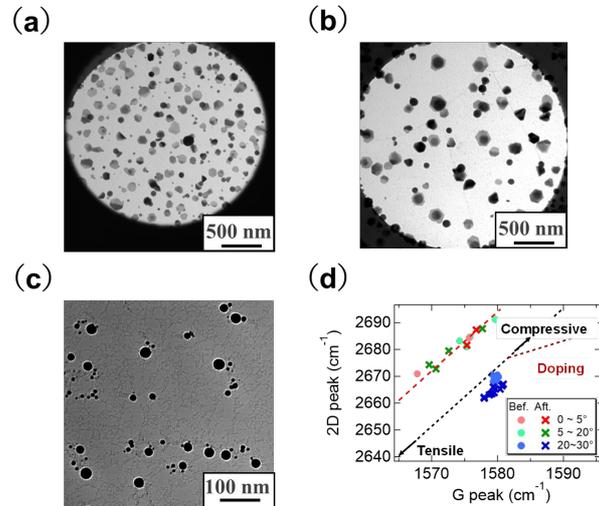


図 2 (a)(b) 架橋ツイスト 2 層グラフェン上に成長した InN の TEM 像。(a)が積層角度 2°、(b)が積層角度 28° のもの(c) 架橋ツイスト 2 層グラフェン上に成長した金属 Ga 粒子の TEM 像。(d)Ga ナノ粒子の蒸着によるラマンピーク (G,2D モード) の変化

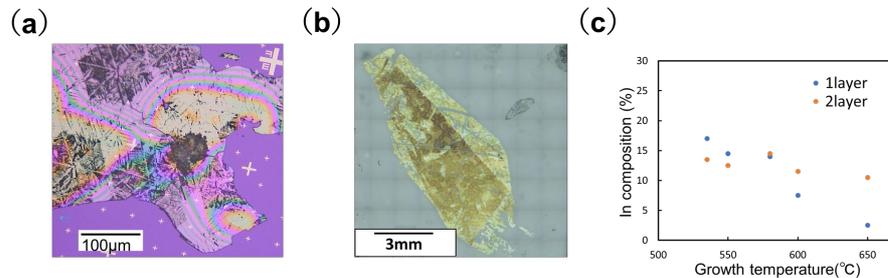


図 3 (a)グラフェン上にミスト CVD 法で成長した Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> をシリコン基板上に転写したものの光学顕微鏡像 (b) グラフェン上に MBE 法で成長した InGaN の光学顕微鏡像(c)ラマンスペクトルによって推定した InGaN 中の In 組成の成長温度に対する変化。オレンジは 2 層グラフェン上、青は単層グラフェン上

### (2) 高品質エピタキシャルグラフェンを利用したリモートヘテロエピタキシー

高品質エピタキシャルグラフェンを利用したリモートヘテロエピタキシーについても研究を進めている。図 3(a)は、ミスト CVD 法でグラフェン/サファイア成長した Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を熱剥離テープを使用して SiO<sub>2</sub>/Si 基板上に転写したものである。ところどころ 相の混入を示唆する黒い箇所が認められるが、サブミリスケールで転写に成功している。現時点で、さらに高品質

の薄膜を得ることに成功している。グラフェン/ $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を用いたリモートホモエピタキシーよりも、リモートヘテロエピタキシーの方が膜のつながりがよくモフォロジーもよい結晶が得られている。サファイアとグラフェンの積層角度などが影響している可能性があり、詳細に調べているところである。 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  は、パワーデバイス応用が期待されているが、放熱の問題が課題として挙げられており、今後放熱特性の高い基板に  $-\text{Ga}_2\text{O}_3$  を転写して、その評価を進める予定である。

図 3(b)には、グラフェン/GaN 基板上に MBE 法で成長した InGaN の光学顕微鏡像を示している。成長後に残留 In を溶解させるため塩酸処理を行っている。色の濃い部分が 2 層グラフェン上、薄い部分が単層グラフェン上であり、グラフェンの層数が結晶成長に大きな影響をお及ぼしていることがわかる。この試料について、成長温度によって、どのように In 組成が変化するかを調べたものが図 3(c)になる。1 層上では成長温度上昇とともに、In 取り込み量が減っているのに対し、2 層グラフェン上では  $600^\circ\text{C}$  付近までほぼ同じ割合となっている。このことは、1 層グラフェン上では、基板である GaN の影響が無視できないのに対し、2 層グラフェンでは GaN の影響がほとんどなくなっていることを示している。このように、基板だけでなく、グラフェンの層数が結晶成長に大きな影響を与えることも分かってきた。

### (3) その他

上記結果以外にも、本予算で整備した実験系を利用して、窒化物半導体基板上に  $\text{MoS}_2$  を直接成長することができることを示すことや、 $\text{ScAlMgO}_3$  への窒化物半導体についても成果を得ている。また、ツイスト 2 層 h-BN 上にグラフェンが成長できることや、ツイスト 2 層グラフェン上に  $\text{MoS}_2$  が成長できることなども報告しており、今後、角度依存性を調べる予定である。

### 4. まとめ

本研究により、ツイスト 2 層グラフェン上での窒化物半導体結晶成長において、積層角度により、核生成密度や成長結晶の大きさに違いがあることがわかってきた。また、金属蒸着の実験でも、積層後のフォノン物性の変化に積層角度による違いがみられることから、蒸着のメカニズムが積層角度によって違うことが示唆される結果が得られている。また、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  や InGaN のリモートエピタキシーについても多くの知見が得られた。

### (参考文献)

- [1] J. Yu et. al., *Adv. Mater.* **32**, 1903407 (2020).
- [2] Y. Kim et. al., *Nature* **544**, 340 (2017).

## 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 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yuichi Wada, Momoko Deura, Yuya Kuroda, Naoki Goto, Seiya Kayamoto, Takashi Fujii, Shinichiro Mouri, Tsutomu Araki	4. 巻 260
2. 論文標題 Substrate Terrace Width Dependence of Direct Growth of GaN on ScAlMgO <sub>4</sub> by Radio-Frequency Molecular Beam Epitaxy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physica status solidi B	6. 最初と最後の頁 202300029
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssb.202300029	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 Naoya Mokitani, Momoko Deura, Shinichiro Mouri, Kanako Shojiki, Shiyu Xiao, Hideto Miyake, Tsutomu Araki	4. 巻 260
2. 論文標題 Control of Metal-Rich Growth for GaN/AlN Superlattice Fabrication on Face-to-Face-Annealed Sputter-Deposited AlN Templates	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physica status solidi B	6. 最初と最後の頁 2300061
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pssb.202300061	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 荒木 努, 出浦 桃子, 藤井 高志, 毛利 真一郎	4. 巻 92
2. 論文標題 分子線エピタキシ法を用いた窒化物半導体結晶成長の最前線	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 622-626
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11470/oubutsu.92.10_622	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 Abdul Kuddus, Shaikh Khaled Mostaque, Shinichiro Mouri and Jaker Hossain	4. 巻 99
2. 論文標題 Emerging II-VI wide bandgap semiconductor device technologies	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 22001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1402-4896/ad1858	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 該当する

1. 著者名 毛利真一郎、荒木努	4. 巻 93
2. 論文標題 原子層モアレ超格子系におけるフォノン物性制御	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 174-177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.93.3_174	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40件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Kaipeng Rong, Ryosuke Noro, Hayato Nishigaki, Mingda Ding, Yao Yao, Taiki Inoue, Ryuji Katayama, Yoshihiro Kobayashi, Kazunari Matsuda, Shinichiro Mouri
2. 発表標題 Modulation of carrier density of 1L-MoS2 using periodically polarization-inversed structure
3. 学会等名 The 23th International Conference on the Science and Applications of Nanotubes and Low-Dimensional Materials (NT23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植野 康大, 藪田 翔平, 荒木 努, 毛利 真一郎
2. 発表標題 二酸化炭素をエッチングガスとして用いた窒化ガリウム上へのグラフェンCVD成長
3. 学会等名 第15回ナノ構造エピタキシャル成長講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 流石 新生, 河瀬 流星, 荒木 努, 毛利 真一郎
2. 発表標題 GaN上形成ピットを活用したMoS2のCVD成長
3. 学会等名 第15回ナノ構造エピタキシャル成長講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Kuddus, K. Yokoyama, K. Ueno, H. Shirai, and S. Mouri
2. 発表標題 Few-Layer MoS <sub>2</sub> and WS <sub>0.3Se1.7</sub> on AlN and AlTiO/P+-Si for Energy Device Applications
3. 学会等名 Graphene 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Kuddus, K. Yokoyama, K. Ueno, S. Mouri and H. Shirai
2. 発表標題 Mist CVD Atomic Few-Layer 2D Transition Metal-Dichalcogenides: MoS <sub>2</sub> , WS <sub>2</sub> and WS <sub>2</sub> Se <sub>2-x</sub> for Electronic and Photovoltaic Devices
3. 学会等名 2D Transition metal dichalcogenides (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Kuddus, K. Yokoyama, K. Ueno, S. Mouri, and H. Shirai
2. 発表標題 Few-Layer WS <sub>2</sub> Se <sub>2-x</sub> on High- Al <sub>x</sub> Ti <sub>1-x</sub> O <sub>y</sub> Dielectric Using Consistent Mist CVD and Applied in MOSFETs Devices
3. 学会等名 第65回フラレンナノチューブグラフェン学会総合シンポジウム(FNTG)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kaipeng Rong, Ryosuke Noro, Hayato Nishigaki, Mingda Ding, Yao Yao, Taiki Inoue, Ryuji Katayama, Yoshihiro Kobayashi, Kazunari Matsuda, Shinichiro Mouri
2. 発表標題 Remote charge density modulation of monolayer MoS <sub>2</sub> using periodically polarization-inversed ferroelectric substrate
3. 学会等名 第65回フラレンナノチューブグラフェン学会総合シンポジウム(FNTG)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 利根川 舜、河瀬 裕太、毛利 真一郎
2. 発表標題 CVD法による架橋2層h-BN上へのグラフェンナノ構造成長
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 Kaipeng Rong, Ryosuke Noro, Hayato Nishigaki, Mingda Ding, Yao Yao, Taiki Inoue, Ryuji Katayama, Yoshihiro Kobayashi, Kazunari Matsuda, Shinichiro Mouri
2. 発表標題 Remote charge modulation effect of monolayer MoS2 using periodically polarization-inverted structure and hBN spacer layer
3. 学会等名 JSPA-OSA jyooint symposia 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. Kuddus, K. Yokoyama, K. Ueno, S. Mouri, and H. Shirai,
2. 発表標題 Decomposition and Size Distribution Monitoring of AlTiO and MoS2 Precursor Mist Particles using a Fast-Scanning Mobility Particle Sizer
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 Y. Kodama, J. Doi, and S. Mouri
2. 発表標題 Thermal conductivity of graphene/h-BN moire superlattice
3. 学会等名 The 42nd Electronic Materials Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kaipeng Rong, Ryosuke Noro, Hayato Nishigaki, Mingda Ding, Yao Yao, Taiki Inoue, Ryuji Katayama, Yoshihiro Kobayashi, Kazunari Matsuda, Shinichiro Mouri
2. 発表標題 Spatial and remote charge density modulation method for MoS <sub>2</sub> using periodically polarization inverted MgO: LiNbO <sub>3</sub>
3. 学会等名 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Abdul Kuddus, Kojun Yokoyama, Keiji Ueno, Shinichiro Mouri, Hajime Shirai
2. 発表標題 Direct Synthesis of MoS <sub>2</sub> and WS <sub>2</sub> Se <sub>2-x</sub> on High- $\kappa$ Al <sub>x</sub> Ti <sub>1-x</sub> O <sub>y</sub> Using Mist CVD Toward Transfer-free MOSFETs Devices
3. 学会等名 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Abdul Kuddus, Kojun Yokoyama, Keiji Ueno, Shinichiro Mouri, Hajime Shirai
2. 発表標題 Mist CVD Modulated High- $\kappa$ Al <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>y</sub> Films for p-WS <sub>0.3</sub> Se <sub>0.7</sub> -channel MOSFETs
3. 学会等名 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河瀬 流星, 流石 新生, Kuddus Abdul, 三宅 秀人, 荒木 努, 毛利 真一郎
2. 発表標題 CVD成長による窒化物半導体上へのMoS <sub>2</sub> 直接成長における基板アニーリング効果
3. 学会等名 第52回結晶成長国内会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Riku Nambu, Shota Hattori, Tsutomu Araki, Shinichiro Mouri
2. 発表標題 Van der Waals epitaxy of Transferable InGaN Thin Film by RF-MBE Method
3. 学会等名 第66回フラーレンナノチューブグラフェン学会総合シンポジウム(FNTG)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Shinichiro Mouri, Yuta Kawase, Riku Nanbu, Kosei Beniya, Yusuke Kodama, Tsutomu Araki
2. 発表標題 Impact of Twist Angle for Raman Shift of Suspended Twisted Bilayer Graphene by Metal Deposition
3. 学会等名 第66回フラーレンナノチューブグラフェン学会総合シンポジウム(FNTG)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Koshiro Kawakami, Syunsuke Yamamura, Abdul Kuddus, Shinichiro Mouri
2. 発表標題 Growth of MoS <sub>2</sub> on Al <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>y</sub> by Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 第66回フラーレンナノチューブグラフェン学会総合シンポジウム(FNTG)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yeasin Arafat Pritom, Abdul A Kuddus, Jaker Hossain, Md Rasidul Islam, Shinichiro Mouri, Mainul Hossain
2. 発表標題 Performance Analysis of MoS <sub>2</sub> /WSe <sub>2</sub> Complementary Field-Effect Transistors
3. 学会等名 2024年春季第71回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 神田 将熙、金子 健太郎、毛利 真一郎
2. 発表標題 ミストCVD法による $\text{-Ga}_{203}$ のリモートヘテロエピタキシー
3. 学会等名 2024年春季第71回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Abdul A Kuddus, Kojun Yokoyama, Mainul Hossain, Jaker Hossain, Rasidul Islam, keiji Ueno, Shinichiro Mouri, Hajime Shirai
2. 発表標題 Nanolaminated Mist CVD High- $\text{AlO}_x/\text{TixAl}_{1-x}\text{O}_y/\text{TiO}_2$ films on P+-Si for TMDCs-MOSFETs
3. 学会等名 2024年春季第71回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 南部 利矩、服部 翔太、荒木 努、毛利 真一郎
2. 発表標題 MBE法を用いたファンデルワールスエピタキシーによる転写可能なInGaN成長
3. 学会等名 2024年春季第71回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 河瀬 流星、流石 新生、Rong Kaipeng、Kuddus Abdul、三宅 秀人、荒木 努、毛利 真一郎
2. 発表標題 $\text{Ar}/\text{O}_2$ キャリアガスを用いた窒化物半導体上への $\text{MoS}_2$ のCVD成長
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 Abdul A Kuddus, Kojun Yokoyama, Shinichiro Mouri, Hajime Shirai
2. 発表標題 Synthesis of Few-layer 2D Transition Metal-Dichalcogenides for Electronics and Optoelectronics: A
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 Shun TONEGAWA, Yuta KAWASE, Tomohiro ASADA, Shinichiro MOURI
2. 発表標題 Growth of Nanographene on the Suspended Bilayer h-BN Membrane
3. 学会等名 The 64st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kaipeng Rong, Ryosuke Noro, Hayato Nishigaki, Mingda Ding, Yao Yao, Taiki Inoue, Ryuji Katayama, Yoshihiro Kobayashi, Shinichiro Mouri
2. 発表標題 Doping effect of MoS2 using periodically polarization-inversed structure
3. 学会等名 The 64st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河瀬 流星, 流石 新生, Rong Kaipeng, 荒木 努, 毛利 真一郎
2. 発表標題 CVD法によるGaN上への原子層半導体MoS <sub>2</sub> 成長における基板極性の影響
3. 学会等名 第14回ナノ構造エピタキシャル成長講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Rong, T. Araki, and S. Mouri
2. 発表標題 Surface Potential Measurement of MoS2 on Ga-face and N-face GaN substrates by KFM
3. 学会等名 41th Electronic Materials Symposium
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅田 智浩、植野 康大、薮田 翔平、荒木 努、毛利 真一郎
2. 発表標題 二酸化炭素を炭素源とする窒化ガリウム上へのグラフェン成長へ向けた検討
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 河瀬 裕太、多田村 充、荒木 努、毛利 真一郎
2. 発表標題 金属ナノ粒子の蒸着による架橋2層グラフェンラマンスペクトルの変調
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 中山 大輝、今村 涼、荒木 努、毛利 真一郎
2. 発表標題 自立GaN基板上にRF-MBE法で再成長したGaNの発光特性
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 Y. Kawase, K. Matsushima, J. Doi, T. Araki, S. Mouri
2. 発表標題 Metal Deposition on a Suspended Graphene Surface
3. 学会等名 The 61st Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木 拓輝, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 岩本 敏志, 上田 悠貴, 成塚 重弥, 中嶋 誠, 荒木 努
2. 発表標題 THz-TDSエリブソメトリを用いたグラフェンの電气的特性評価
3. 学会等名 2021年秋季第82回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土井 惇太郎, 荒木 努, 毛利 真一郎
2. 発表標題 ラマン分光を用いた架橋ツイスト2層グラフェンの熱伝導測
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河瀬裕太, 松島健太, 土井惇太郎, 荒木努, 毛利真一郎
2. 発表標題 架橋グラフェン上における窒化インジウムのファンデルワールスエピタキシー
3. 学会等名 2021年秋季第82回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Asada, S. Yabuta, T. Araki and S. Mouri
2. 発表標題 Growth and Raman Characterization of Non-Bernal Stacking Few-Layer Graphene by Alcohol CVD Method
3. 学会等名 40th Electronic Materials Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Kaipeng, Y. Komichi, T. Araki and S. Mouri
2. 発表標題 Surface Potential of MoS2 Depending on the Polarity of GaN Substrate Measured by Kelvin Probe Force Microscope
3. 学会等名 The 12th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR 2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松島健太、土井惇太郎、荒木努、毛利真一郎
2. 発表標題 グラフェン上での InN MBE 成長における窒素プラズマ照射時間の検討
3. 学会等名 第13回ナノ構造エピタキシャル成長講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藪田翔平, 河瀬流星, 荒木 努, 毛利 真一郎
2. 発表標題 アルコールCVD法を用いたGaN上への酸化グラフェン成長
3. 学会等名 2022年春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 拓輝, 渡邊 迅登, 藤井 高志, 毛利 真一郎, 岩本 敏志, 福西 康寛, 成塚 重弥, 荒木 努
2. 発表標題 THz-TDSEを用いたr面サファイア基板上グラフェンの電気的特性評価
3. 学会等名 2022年春季第69回応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2022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	荒木 努  (Araki Tsutomu)  (20312126)	立命館大学・理工学部・教授   (34315)	
研究分担者	藤井 高志  (Fujii Takashi)  (60571685)	立命館大学・総合科学技術研究機構・教授   (34315)	

	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
連携研究者	クドス アブドゥル  (Kuddus Abdul)  (10976137)	立命館大学・総合科学技術研究機構・専門研究員   (34315)	

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