

第1章 世界と日本の研究動向

第1節 Graphene Flagship (2013—2023) 《Jari Kinaret》

【要旨】

1. Brief description of the project
2. The goal of the project
3. The status up to now
4. International collaboration
5. Messages

第2節 National Graphene Institute (NGI) 《Vladimir Fal'ko》

【要旨】

1. Brief description of the project
2. The goal and status of the project
3. Collaboration
4. Message from Prof Vladimir Fal'ko, Director of NGI

第3節 Beijing Graphene Institute (2016—) 《Zhongfan Liu》

【要旨】

1. Brief description of the project
2. The goal of the project
3. The status up to now
4. International collaboration
5. Messages

第4節 Center for Integrated Nanostructure Physics 《Young Hee Lee》

【要旨】

1. Brief description of the project
2. The goal of the project
3. The status up to now
4. International collaboration
5. Messages

第5節 二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出 《黒部 篤》

1. 概要
2. 研究課題
3. 運営
4. 進捗状況

第6節 グラフェンコンソーシアム 《長谷川 雅考》

1. 概要
2. 発足の背景
3. 運営
4. 研究会の今後

第7節 酸化グラフェン研究会 《松本 泰道, 速水 真也》

1. 概要
2. 発足の背景
3. 運営
4. 研究会の今後

第8節 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会 《丸山 茂夫》

1. 概要
2. 発足の背景
3. 運営
4. 学会の今後

第2章 グラフェンを中心とした応用研究

第1節 完全二次元層状ヘテロ2層グラフェントランジスタ

タ 《長汐 晃輔》

1. はじめに
2. h-BN の絶縁破壊挙動および誘電率
3. 完全二次元層状 BLG-FET
4. おわりに

第2節 グラフェン, グラフェンナノリボンのトランジスタ・センサ応用 《佐藤 信太郎》

1. はじめに
2. グラフェンのトランジスタ応用
3. グラフェンのセンサなどへの応用
4. おわりに

第3節 グラフェン高周波トランジスタ 《舘野 泰範》

1. はじめに
2. グラフェン高周波トランジスタの構造と等価回路
3. グラフェントランジスタの課題
4. グラフェントランジスタの現状
5. グラフェン高周波機能素子の開発状況
6. おわりに

第4節 グラフェン光センサ 《小川 新平》

1. 背景
2. グラフェン光センサ
3. 高感度赤外線センサへの応用
4. おわりに

第5節 ナノカーボンテラヘルツデバイス 《李 恒, 菅谷 俊夫, 河野 行雄》

1. 背景—テラヘルツ帯とナノカーボン材料—
2. カーボンナノチューブ THz センサ・カメラ
3. プラズモニック構造体によるサブ波長集光—超解像 THz 分光画像計測の開拓—
4. おわりに

第6節 チップ上・超高速グラフェン発光デバイス 《牧 英之, 志村 惟, 高橋 英統, 中川 鉄馬》

1. はじめに
2. ナノカーボン黒体放射発光素子
3. グラフェン黒体放射発光素子とその特性
4. グラフェン黒体放射発光素子の光通信応用
5. おわりに

第7節 グラフェンプラズモンの応用 《熊田 倫雄, 高村 真琴》

1. はじめに
2. プラズモンの電氣的制御
3. プラズモンのロス
4. プラズモンの閉じ込め
5. おわりに

第8節 透明電極応用 《長谷川 雅考, 沖川 侑揮, 水谷 亘》

1. はじめに
2. 高分子有機 EL 素子への応用
3. リーク電流発生メカニズムとグラフェンの特徴
4. 透明電極応用のための低抵抗化技術
5. ドーピングの長期安定化
6. 光ドーピンググラフェンによる有機 EL 素子

第9節 ナノカーボンを用いたフレキシブルセンサシート 《竹井 邦晴》

1. はじめに
2. カーボンナノチューブを用いたフレキシブルセンサ

3. グラフェンを用いた歪みセンサとその応用展開
4. おわりに
- 第10節 グラフェンのバイオセンサ応用 《松本 和彦》
 1. はじめに
 2. グラフェンFETによるバイオセンサの原理
 3. グラフェンFETによるIgE抗体の検出
 4. グラフェンFETによるインフルエンザウイルスの検出
5. おわりに
- 第11節 積層した二次元物質のナノ電気機械システムへの応用 《井上 太一, 秋田 成司》
 1. はじめに
 2. 異なる二次元材料を積層したナノ機械共振器
 3. 測定方法
 4. グラフェン機械共振器の共振周波数の温度依存性
 5. MoS₂/グラフェン機械共振器の共振周波数の温度依存性
 6. グラフェン共振器とMoS₂/グラフェン共振器での比較
 7. おわりに
- 第12節 MEMS センサ 《高橋 一浩》
 1. はじめに
 2. 架橋グラフェンの製作方法
 3. 架橋グラフェンを用いた生体分子検出
 4. おわりに
- 第13節 酸化グラフェンの多機能性から応用まで 《福田 将大, 速水 真也》
 1. はじめに
 2. 酸化グラフェンの合成および性質
 3. 酸化グラフェンの半導体特性
 4. 酸化グラフェンのプロトン伝導性
 5. 燃料電池の固体電解質としての応用
 6. 酸化グラフェンのプロトン・電子混合伝導
 7. オールカーボンキャパシタへの応用
 8. 酸化グラフェンの気体, 液体, イオンの透過性能
 9. 酸化グラフェンの医療応用
 10. 酸化グラフェンハイブリッド
 11. おわりに
- 第14節 自己組立てによるグラフェンの三次元構造の作製と生体インターフェースへの応用 《手島 哲彦》
 1. グラフェンの三次元化
 2. 高分子薄膜を用いたグラフェンの自己組立て
 3. 自己組立てされたグラフェンの特性
 4. 三次元グラフェンの生体インターフェースへの応用
 5. まとめと展望

第3章 遷移金属カルコゲナイドを中心とした応用研究

- 第1節 TMDC 半導体デバイス 《川那子 高暢》
 1. はじめに
 2. 材料によるアプローチ: 自己組織化有機単分子ゲート絶縁膜
 3. デバイスプロセスによるアプローチ: ゲート絶縁膜転写法
 4. おわりに
- 第2節 MoS₂FETにおけるゲート容量の理解 《長汐 晃輔》
 1. はじめに
 2. 単層MoS₂FETにおけるゲート容量の理解: 量子容量
 3. 多層における空乏層および反転層形成
 4. 時間分解電流計測による界面準位計測

5. おわりに
- 第3節 トンネルFET 応用 《入沢 寿史, 宮田 耕充》
 1. トンネルFETの意義とTMDCヘテロ構造利用への期待
 2. TMDCヘテロ構造を利用したトンネルFETの実証例
 3. CVD成長した二層積層TMDCのトンネルFET応用
 4. 今後の課題と展望
- 第4節 イオンゲルによるトランジスタと受光・発光素子 《蒲江, 竹延 大志》
 1. はじめに
 2. イオンゲルを用いたEDLT
 3. イオンゲルを用いた受光・発光素子
 4. 電解質を用いたさまざまな原子層発光素子
 5. 原子層発光素子の新機能
 6. おわりに
- 第5節 熱電応用 《清水 直, 岩佐 義宏》
 1. はじめに
 2. 電気二重層トランジスタを用いたキャリア密度の電界制御
 3. フェルミレベルの電界制御による熱電効果の最適化
 4. ナノ超薄膜における巨大熱電応答
 5. おわりに
- 第6節 電解液流体による起電力の発生と応用 《Adha Sukma Aji, 大野 雄高》

【要旨】

【Abstract】

 1. Introduction
 2. Synthesis of centimeter-scale single-layer MoS₂
 3. Fabrication of MoS₂ nanogenerator
 4. Electrical energy harvesting by using MoS₂ nanogenerator
 5. Mechanism of electricity generation from liquid movement on MoS₂ nanogenerator
 6. Application and scalability of MoS₂ nanogenerator
 7. Summary
 8. Acknowledgements

第4章 ヘテロ構造体への新たな展開

- 第1節 積層ヘテロ構造のドライ転写とロボット作製 《増淵 覚, 町田 友樹》
 1. はじめに
 2. 二次元結晶の自動探索
 3. 積層ヘテロ構造のCAD設計
 4. 積層ヘテロ構造ロボット積層
 5. ロボットシステムのオープンソース化
 6. おわりに
- 第2節 二次元ヘテロ構造の直接成長 《宮田 耕充》
 1. 二次元ヘテロ構造とその作製法
 2. グラフェン/h-BN面内ヘテロ構造の直接成長
 3. TMDC面内ヘテロ構造の直接成長
 4. TMDC/グラフェン(h-BN)積層ヘテロ構造とスライド可能な原子層
 5. まとめ
- 第3節 転写法を用いたCVDグラフェン/高温高压合成h-BNの形成と電気伝導特性 《沖川 侑揮, 山田 貴壽》
 1. はじめに
 2. 二次元材料の積層
 3. グラフェン/h-BNによる高移動度化
 4. CVDグラフェン/HPHT h-BNの積層方法
 5. CVDグラフェン/HPHT h-BNの電気特性

6. CVD グラフェン/HPHT h-BN におけるラマン分光評価と電気特性との関連

7. CVD グラフェン/HPHT h-BN における表面形状と電気特性との関連

8. おわりに

第4節 ファンデルワールス接合における量子伝導 《町田友樹》

1. グラフェン/h-BN における量子伝導

2. グラフェン/h-BN 接合におけるサイクロトロン共鳴吸収

3. 強磁性層状物質接合および超伝導層状物質接合における量子伝導

第5節 積層ヘテロ構造の結晶成長と光学応答 《北浦良》

1. はじめに

2. 遷移金属ダイカルコゲナイドの結晶成長と評価

3. おわりに

第6節 二次元物質および積層ヘテロ構造の光物性 《松田一成》

1. はじめに

2. 単層二次元物質の基礎光学特性

3. 二次元半導体物質ヘテロ構造のバンドアラインメント

4. タイプ I : 二次元物質ヘテロ構造の発光特性とキャリアダイナミクス

5. タイプ II : 二次元物質ヘテロ構造の層間励起子

6. おわりに

第5章 最先端測定技術

第1節 二次元材料の TEM, STEM 観察技術と可能性《林 永昌, 末永 和知》

【概 説】

1. Introduction to the TEM and STEM

2. TEM specimen preparation for 2D materials

3. In-situ visualization of structure transformations in 2D materials

4. Single atom spectroscopy in 2D materials

5. Exciton absorption of 2D materials

6. Vibration spectroscopy of 2D materials

第2節 ARPES を用いた二次元原子層材料の電子状態《菅原 克明, 高橋 隆, 佐藤 宇史》

1. はじめに

2. 2 層グラフェン層間化合物および TMCs 原子層薄膜の作製

3. 2 層グラフェン層間化合物 C6CaC6 の電子構造

4. 原子層 WSe₂ の電子構造

5. 原子層 TiSe₂ の電子構造

6. 今後の展望

第3節 ラマン分光法による二次元材料の構造・電子状態解析《齋藤 理一郎》

1. ラマン分光法の概略と理論的解析

2. 共鳴ラマン分光と偏光ラマン分光

3. 円偏光共鳴ラマン分光と角運動量保存則

4. 二重共鳴ラマン分光スペクトル

5. ゲート変調ラマン分光とファノ共鳴

6. 近接場を用いたラマン分光技術

7. まとめと今後の展開

第4節 LEEM 《日比野 浩樹》

1. 低エネルギー電子顕微鏡

2. グラフェン成長の動的観察

3. 結晶方位分布解析

4. 2D 物質の層数決定

5. 積層構造解析

6. おわりに

第5節 STM 《茂木 裕幸, 吉田 昭二, 重川 秀実》

1. はじめに

2. 遷移金属ダイカルコゲナイド単原子層ヘテロ接合の STM/STS 計測

3. 複数探針による二次元材料計測

第6節 近接場分光と電界効果を組み合わせた原子層物質の局所光物性研究 《柳 和宏》

1. 原子層物質の光物性と近接場分光

2. SNOM を用いた MoS₂ および h-BN 積層系における局所光吸収構造と発光との相関

3. 局所バイアス電圧引加と SNOM 測定を組み合わせた局所電界と光学特性の相関の解明と構造制御

4. おわりに

第7節 ロックイン赤外線発熱解析法 《中島 秀朗, 森本 崇宏, 岡崎 俊也》

1. はじめに

2. 赤外線サーモグラフィ

3. ロックイン赤外線発熱解析法 (LIT)

4. まとめ

第6章 材料合成の最前線

第1節 リアルタイム観察によるグラフェン化学気相成長機構の解明《斎木 幸一朗》

1. はじめに

2. 成長の様子と成長速度

3. 核密度の低減によるグラフェンドメインサイズの増加

4. 銅箔結晶粒界がグラフェン成長に与える影響

5. 補助フィラメントの効果

6. おわりに

第2節 高品質グラフェンの CVD 成長 《吾郷 浩樹》

1. はじめに

2. エピタキシャル CVD 法

3. 二層グラフェンの CVD 成長

4. グラフェンの位置選択成長

5. まとめと今後の展開

第3節 グラフェンの実用的合成技術 《野田 優》

1. グラフェンの化学気相成長 (CVD) 法による大面積合成の概略と課題

2. 大面積・短時間 CVD 合成

3. 誘電体・絶縁体基板上直接合成

4. おわりに

第4節 酸化グラフェンの合成と還元 《仁科 勇太, 小幡 誠司》

1. はじめに

2. 化学的酸化方法

3. 電気化学的酸化方法

4. 酸化グラフェンの還元方法

5. おわりに

第5節 TMDC の CVD 成長 《宮田 耕充》

1. はじめに

2. 固体原料を用いた CVD

3. 成長補助剤

4. 成長基板の影響

5. 有機原料を用いた CVD (MOCVD)

6. 金-SiO₂ 界面への直接成長

7. おわりに
- 第6節 遷移金属カルコゲナイド薄膜・ヘテロ構造のMBE成長
- 《中野 匡規, 岩佐 義宏》
1. はじめに
 2. 単層 TMDC の MBE 成長と物性開拓
 3. 絶縁体基板上への TMDC 超薄膜の MBE 成長
 4. VI族-IV族半導体 TMDC ヘテロ構造の MBE 成長と界面伝導
 5. 遍歴反強磁性体 V5 Se8 薄膜の MBE 成長と創発強磁性
 6. まとめと将来展望
- 第7節 h-BN の結晶成長 《谷口 尚》
1. はじめに
 2. 窒化ホウ素結晶の高圧合成
 3. グラフェンデバイス用高品位基板などとしての展開
 4. 常圧下金属系溶媒による h-BN 結晶合成高純度単結晶合成
 5. おわりに
- 第8節 大面積h-BN のCVD 成長《吾郷 浩樹, 河原 憲治》
1. はじめに
 2. 単層 h-BN の CVD 成長
 3. 多層 h-BN の CVD 成長
 4. まとめ
- 第9節 単結晶を基軸とする次世代原子層研究《笹川 崇男》
1. はじめに
 2. 単結晶育成技術
 3. 単結晶の高品質化と物性へのインパクト
 4. 積層単結晶の原子層化で現れるエキゾチック物性
 5. おわりに
- 第10節 黒リン超薄膜の電子構造と物性 《長田 俊人》
1. はじめに：黒リン結晶から黒リン原子層へ
 2. 黒リンの合成と超薄膜素子の作製
 3. 黒リン超薄膜の電子構造
 4. 黒リン超薄膜FET の伝導特性

- 第11節 IV属原子シートの合成と物性 《柚原 淳司》
1. はじめに
 2. 表面合金を利用した平面スタネンの創製
 3. 偏析法によるゲルマネンの創製
 4. 合金薄膜を利用したプランベンの創製
 5. おわりに
- 第12節 MXene の合成と物性 《大久保 將史》
1. はじめに
 2. Ti 系 MXene
 3. Mo 系 MXene
 4. おわりに
- 第13節 分子性ナノシートの精密合成およびその物性評価 《坂本 良太, 米田 丈》
1. はじめに
 2. 分子性ナノシート
 3. ジチオレンナノシート
 4. グラフィジン
 5. おわりに
- 第14節 新奇マルチディメンジョナル π 電子系の物質設計と物性探索 《丸山 実那, 岡田 晋》
1. はじめに
 2. 計算手法
 3. 周期的な穴空きグラフェンネットワーク
 4. 立体炭化水素からなる π 電子ネットワーク物質
 5. おわりに
- 第15節 二次元ペロブスカイト 《Ufuk Erkiliç, 吾郷 浩樹》
- 【要旨】
1. Introduction
 2. Synthesis methods of 2D perovskites
 3. TMDC-templated 2D perovskite growth
 4. Application of 2D perovskite/TMDC heterostructure to photodetector
 5. Summary
 6. Acknowledgements