

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02209

研究課題名（和文）グラフェンを用いた透明アンテナの開発

研究課題名（英文）Development of Graphene-Based Transparent Antennas

研究代表者

黄 晋二（Koh, Shinji）

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号：50323663

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、グラフェンを透明導電膜として用いる透明アンテナについて研究開発に取り組んだ。CVDグラフェンの3層積層と化学ドーピング技術を活用してグラフェン膜の低抵抗化を図り、約90%の透明性をもちながらも80 Ω /sqまでの低抵抗化に成功した。さらに、この低抵抗化したグラフェン膜を用いて作製したモノポールアンテナにおいて約50%の放射効率を達成することができた。この結果は、グラフェン透明アンテナを実用化に供する可能性を強く示したものであると考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、グラフェンを透明導電膜として用いる透明アンテナについて研究開発を進めた。グラフェン透明導電膜は、既存の金属微細メッシュやITOなどを用いた透明導電膜と比較して、高い透明性、優れた電気伝導特性、高い化学的安定性、超軽量、優れたフレキシブル性を持つことから、透明アンテナの材料として好適であり、特に透明かつフレキシブルなアンテナの材料として有望である。本研究では、CVDグラフェンの低抵抗化技術の確立に取り組み、グラフェン透明アンテナの実用化の可能性を示すことができた。このグラフェン透明アンテナは、普及が進みつつあるIoT分野や5G通信技術分野において活躍することが期待される。

研究成果の概要（英文）：We fabricated an optically transparent monopole antenna using graphene film and investigated the feasibility of the film as an electrode material for antennas. A low sheet resistance (80 Ω /sq) was attained by stacking the graphene films and carrier doping with TFSA molecules. The optical transmittance of the carrier-doped three-layer stacked graphene film was greater than 90%. Using the monopole antenna structure, we measured the characteristics of the graphene monopole antenna. The radiation efficiency of the graphene monopole antenna was determined to be 52.5% at 9.8 GHz. Through the measurements of the graphene monopole antenna, we demonstrated that the carrier-doped three-layer stacked graphene film can be used as an electrode material for optically transparent antennas.

研究分野：グラフェンのCVD成長とデバイス応用

キーワード：グラフェン CVD 透明アンテナ インターカレーション ミリ波帯デバイス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々はこれまでに、透明石英ガラス基板上に単層 CVD グラフェンをアンテナエレメントとするマイクロ波ダイポールアンテナを作製し、わずか 1 原子層のグラフェンからマイクロ波が放射されることを世界で初めて実証した。しかしながら、単層グラフェンのシート抵抗が高いため、同形状の金属製アンテナと比較して大きな導体損が生じるという課題が抽出された。グラフェンを用いた透明アンテナを実用化するためには、グラフェンの低抵抗化という課題を克服する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、グラフェンアンテナの光学的透明性を維持しつつ、シート抵抗を可能な限り低減する技術に取り組んだ。分子吸着キャリアドーピングとグラフェンの積層化を併用することで、可視光透過率 90%以上、かつシート抵抗 $50 \text{ } \Omega/\text{sq}$ 以下のグラフェンを用いた透明アンテナを作製することを目指した。

3. 研究の方法

(1) グラフェンの低抵抗化

まず、グラフェンを複数回の転写によって積層する技術と分子ドーピング技術を併用した低抵抗化に取り組んだ。図 1 に示す Layer-by-Layer 法を用いて、層間に PMMA が残留しない 3 層グラフェン積層構造を作製した。また、作製したグラフェンに対して、電子吸引性分子 TFSA を塗布することで p 型ドーピングを施した。グラフェン膜の評価では、ホール効果測定、及び透過率測定を行った。

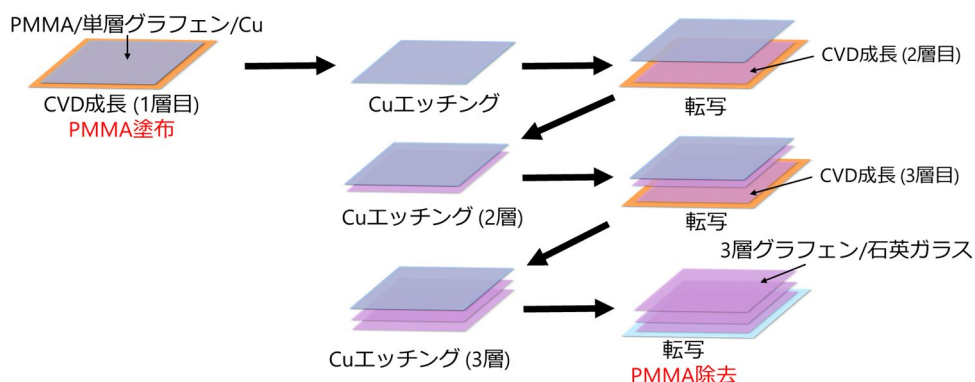


図 1 : Layer-by-Layer 法を用いた転写プロセス

(2) モノポールアンテナの作製と評価

低抵抗化した 3 層積層グラフェンを用いて実際に透明アンテナを作製した。図 2 に作製した接地板付きモノポールアンテナを示す。モノポールアンテナ構造を採用することで、反射・放射係数、Wheeler cap 法を用いた放射効率、利得を評価することが可能である。

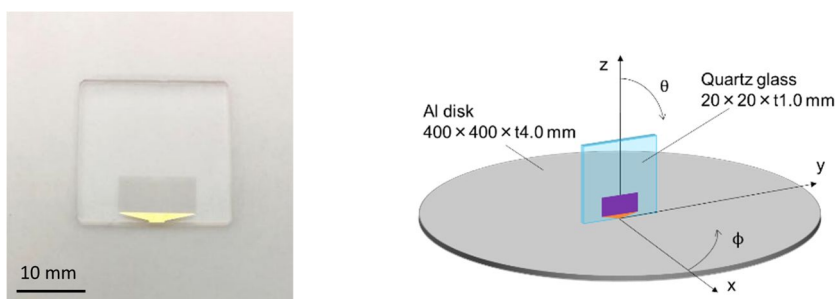


図 2 : 作製したグラフェン透明モノポールアンテナ

(3) 3層積層グラフェンへのインターカレーション

本項目では、更なる低抵抗化を達成するために、3層積層グラフェンへ塩化鉄 (FeCl_3) のインターカレーションを行った。実験では、石英管内に3層積層グラフェンと塩化鉄を封入し、それぞれを加熱することで層間へのインターカレーションを行った。評価では、ホール効果測定、ラマン分光測定、及び透過率測定を行った。

(4) グラフェンのミリ波帯伝送特性の評価

本項目では、図3に示すグラフェンを伝送線路として含むコプレーナ導波路 (CPW: coplanar waveguide) を作製し、ベクトルネットワークアナライザ (VNA) を用いて 0.05 ~ 50 GHz までの伝送特性を評価した。CPW は Au で作製し、グラフェン伝送路部分は、単層グラフェン、3層積層グラフェン、及びドーピングを施した3層積層グラフェンの3種類とし、その比較を行った。

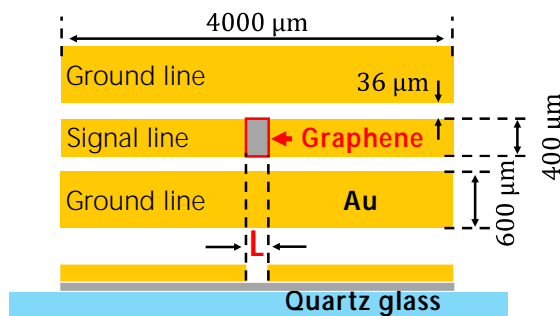


図3: 作製した CPW の模式図

4. 研究成果

(1) グラフェンの低抵抗化

Hall bar デバイスを作製し評価を行ったところ、単層グラフェン、3層グラフェン、ドーピングを施した3層グラフェンのシート抵抗はそれぞれ、 $670 \Omega/\text{sq}$ 、 $580 \Omega/\text{sq}$ 、 $80 \Omega/\text{sq}$ であった。また、可視光領域における透過率を評価したところ (図4)、単層グラフェン、3層グラフェン、ドーピングを施した3層グラフェンの透過率 (波長 550 nm) は 97.0%、90.9%、90.6% であった。以上より、3層積層とドーピングを組み合わせることにより、90% 以上の高い可視光透過率を維持しながら、シート抵抗を約 1/8 まで大幅に低減することに成功した。

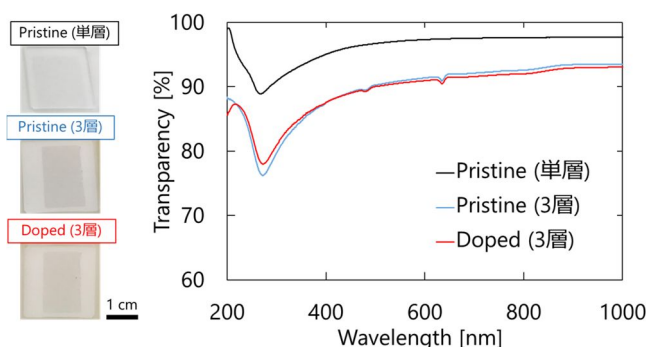


図4: 単層、3層 (ドーピング有り/無し) グラフェンの可視光透過スペクトル

(2) モノポールアンテナの作製と評価

低抵抗化したグラフェンを用いて 10 GHz 帯モノポールアンテナを作製し、同形状の Au アンテナの特性と比較を行った。図5に各アンテナの放射パターンを示す。ローブ数が同一であることから、低抵抗化したグラフェンが金属的な振る舞いをしていることが分かった。また、Wheeler cap 法を用いて放射効率を評価し、52.5% という値を得た (参照用 Au アンテナの放射効率は 98%)。次に、アンテナ利得を測定したところ (図6)、最大利得方向で Au アンテナとの利得差が約 3 dBi であり、放射効率の結果と矛盾しない結果が得られた。これらの実験から、グラフェンの低抵抗化によって金属アンテナに近い特性が得られること、及び金属アンテナとの特性の差が約 3dB

であることが分かった。これらの結果は、更なる低抵抗化によってグラフェン透明アンテナの実用化が可能であることを示すものであると考えている。

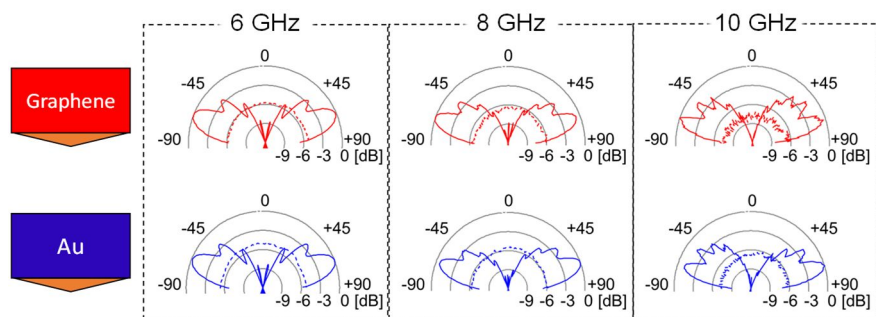


図 5: グラフェン・Au モノポールアンテナの放射パターン

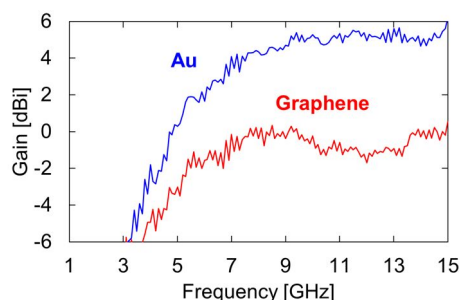


図 6: グラフェン・Au モノポールアンテナの利得

(3) 3層積層グラフェンへのインターカレーション

図 7 (左) にインターカレーション前後の 3 層積層グラフェンのラマンスペクトルを示す。インターカレーション前 (Pristine) の 3 層グラフェンでは G ピーク位置が 1587 cm^{-1} であったのに対し、インターカレーション後の G ピーク位置は 1608 cm^{-1} にブルーシフトした。また、インターカレーション後の G ピークが 2 つのピークに分裂しているのは、Stage 2 の 3 層グラフェン (1594 cm^{-1}) と Stage 1 の 3 層グラフェン (1608 cm^{-1}) の混在が起因していると考えられる。図 7 (右) に G ピーク分布を表したラマンマッピングを示す。コントラストが明るい方がよりブルーシフトしていることを示している。広い面積で G ピーク位置がブルーシフトしており、大面積のインターカレーションに成功したことがわかった。また、可視光透過率測定したところ、3 層グラフェンのインターカレーション前後で変化がなく、波長 550 nm における可視光透過率は 91.2% と高い透明性を維持した。様々な条件で作製した 3 層積層グラフェンに対するホール効果測定において、最も低いシート抵抗として $40 \Omega/\text{sq}$ が得られており、目標とする「可視光透過率 90% 以上、かつシート抵抗 $50 \Omega/\text{sq}$ 以下のグラフェン」の作製に成功したと言える。今後、インターカレーションによって低抵抗化したグラフェンを用いて透明アンテナの作製を進めて行く。

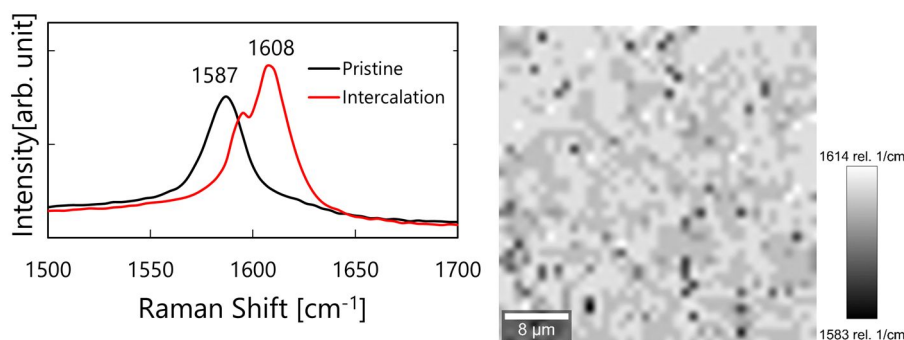


図 7: (左) インターカレーション前後のラマンスペクトル (右) G ピークのマッピング

(4) グラフェンのミリ波帯伝送特性の評価

図 8 に CPW の伝送特性評価を通して得られた、伝送損失とグラフェンのシート抵抗（ホール効果測定で評価した）との関係を示す。シート抵抗が小さいほど伝送損失が減少する結果が得られ、Layer-by-layer 法を用いた積層と TFSA を用いたキャリアドーピングを活用した低抵抗化技術がマイクロ波～ミリ波帯におけるグラフェンの伝送損失低減に有効であることを示した。本実験と結果の解析から、ミリ波帯におけるグラフェンアンテナの設計において重要となる基礎的な知見、基礎データを得ることができた。

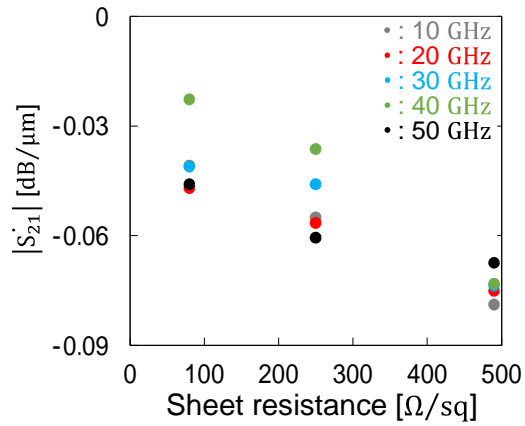


図 8: 伝送損失とグラフェンのシート抵抗との関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kuromatsu Sho, Watanabe Takeshi, Nonoguchi Yoshiyuki, Kawai Tsuyoshi, Koh Shinji	4. 巻 736
2. 論文標題 Development of poly (methyl methacrylate)-supported transfer technique of single-wall carbon nanotube conductive films for flexible devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 138904 ~ 138904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2021.138904	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 Hashimoto Eri, Tamura Keigo, Yamaguchi Hayato, Watanabe Takeshi, Matsui Fumihiko, Koh Shinji	4. 巻 61
2. 論文標題 Characterization of epitaxial CVD graphene on Ir(111)/ -Al2O3(0001) by photoelectron momentum microscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SD1015 ~ SD1015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4ad8	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 KOH Shinji, KOSUGA Shohei, SUGA Ryosuke, WATANABE Takeshi, HASHIMOTO Osamu	4. 巻 72
2. 論文標題 CVD-Graphene-Based Optically Transparent Antennas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of The Surface Finishing Society of Japan	6. 最初と最後の頁 433 ~ 438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4139/sfj.72.433	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 Kosuga Shohei, Suga Ryosuke, Watanabe Takeshi, Hashimoto Osamu, Koh Shinji	4. 巻 3
2. 論文標題 Characterization of contact properties at interface between metal and graphene up to 15 GHz	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering Reports	6. 最初と最後の頁 e12325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/eng2.12325	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 Kosuga Shohei, Nagata Shunichiro, Kuromatsu Sho, Suga Ryosuke, Watanabe Takeshi, Hashimoto Osamu, Koh Shinji	4. 巻 11
2. 論文標題 Optically transparent antenna based on carrier-doped three-layer stacked graphene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 035136 ~ 035136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0037907	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 Horita Yuito, Kuromatsu Sho, Watanabe Takeshi, Suga Ryosuke, Koh Shinji	4. 巻 30
2. 論文標題 Polydopamine-assisted dip-and-dry fabrication of highly conductive cotton fabrics using single-wall carbon nanotubes inks for flexible devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 1971 ~ 1980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10570-022-04955-2	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 Watanabe Takeshi, Ishikawa Ryohei, Hara Natsumi, Iwasaki Takamitsu, Miyachi Mamoru, Shiigi Yusei, Takahashi Mayu, Kuroki Daichi, Koh Shinji	4. 巻 138
2. 論文標題 Single-layer graphene as a transparent electrode for electrogenerated chemiluminescence biosensing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrochemistry Communications	6. 最初と最後の頁 107290 ~ 107290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.elecom.2022.107290	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 Koh Shinji, Kosuga Shohei, Suga Ryosuke, Nagata Shunichiro, Kuromatsu Sho, Watanabe Takeshi, Hashimoto Osamu	4. 巻 2
2. 論文標題 Graphene transparent antennas	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon Reports	6. 最初と最後の頁 23 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7209/carbon.020104	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30件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 橋本 恵里、田村 圭吾、山口 隼人、松井 文彦、黄 晋二
2. 発表標題 光電子運動量顕微鏡を用いたIr(111)/ -Al2O3(0001)上CVDグラフェンの評価
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eri Hashimoto, Keigo Tamura, Hayato Yamaguchi, Fumihiko Matsui, and Shinji Koh
2. 発表標題 Characterization of Epitaxial CVD Graphene on Ir(111)/ -Al2O3(0001) by Photoelectron Momentum Microscopy
3. 学会等名 34th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Koh
2. 発表標題 Device applications of graphene
3. 学会等名 India-Japan Webinar on "Cyber-Physical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒松 将、渡辺 剛志、野々口 斐之、遠藤 和幸、黄 晋二
2. 発表標題 高導電性を有する熱圧着転写単層カーボンナノチューブ膜
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅原 大翔、渡辺 剛志、黄 晋二
2. 発表標題 溶液ゲート型グラフェン電界効果トランジスタを用いた遊離塩素測定
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeshi Watanabe, Kota Nakajo, and Shinji Koh
2. 発表標題 Solution-gated graphene transistor with a graphene gate for highly sensitive free chlorine sensors
3. 学会等名 2021 International chemical congress of pacific basin societies (PACIFICHEM 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黄 晋二、小菅 祥平、須賀 良介、渡辺 剛志、橋本 修
2. 発表標題 CVDグラフェンを用いた透明アンテナ
3. 学会等名 第85回半導体・集積回路技術シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒松 将、渡辺 剛志、野々口 斐之、黄 晋二
2. 発表標題 光電子分光法を用いた SWCNT 膜に対するドーピング効果の評価
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田 貴陽, 黄 晋二
2. 発表標題 グラフェン/SWCNT コンポジット導電性インクの調製と評価
3. 学会等名 第48回炭素材料学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小菅 祥平、永田 駿一郎、黒松 将、須賀 良介、渡辺 剛志、橋本 修、黄 晋二
2. 発表標題 グラフェンを電極材料とする透明アンテナの研究
3. 学会等名 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小菅 祥平、永田 駿一郎、黒松 将、須賀 良介、渡辺 剛志、橋本 修、黄 晋二
2. 発表標題 低シート抵抗と高可視光透過率を併せ持つ3層積層グラフェン膜の透明アンテナ電極材料としての特性
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 黒松 将、渡辺 剛志、野々口 斐之、黄 晋二
2. 発表標題 フレキシブル単層カーボンナノチューブ導電膜の転写
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 Shinji Koh
2. 発表標題 Device applications of graphene
3. 学会等名 India-Japan Webinar on "Cyber-Physical Systems (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒松 将、小菅 祥平、渡辺 剛志、野々口 斐之、黄 晋二
2. 発表標題 カーボンナノチューブ導電膜の転写技術の確立
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuito Horita, Sho Kuromatsu, Takeshi Watanabe, Shinji Koh
2. 発表標題 Polydopamine-Assisted Dip-and-Dry Fabrication of High Conductive Fabrics using Single-Wall Carbon Nanotube Inks
3. 学会等名 the 15th International Conference on New Diamond and Nano Carbons (NDNC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sho Kuromatsu, Takeshi Watanabe, Ryosuke Suga, Yoshiyuki Nonoguchi, Osamu Hashimoto and Shinji Koh
2. 発表標題 Fabrication of Single-Wall Carbon Nanotube Monopole Antenna Using Poly (methyl methacrylate)-Supported Transfer Technique
3. 学会等名 the 15th International Conference on New Diamond and Nano Carbons (NDNC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eri Hashimoto, Yuki Onuma, Fumihiko Matsui and Shinji Koh
2. 発表標題 Imaging single-crystal domains of CVD graphene on Ir(111)/alpha-Al2O3 (0001) by photoelectron momentum microscopy
3. 学会等名 14th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '22 (ALC'22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sota Matsumoto, Ryosuke Suga, Hayama Hisanaga, Shusaku Okamoto, Hideki Mouri, Reina Sekihara, Osamu Hashimoto, Shinji Koh
2. 発表標題 Printed Quarter-Wavelength Absorber Using Carbon Nanotube Ink
3. 学会等名 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sho Kuromatsu, Takeshi Watanabe, Yoshiyuki Nonoguchi, Ryosuke Suga, Osamu Hashimoto, Shinji Koh
2. 発表標題 Single-Wall Carbon Nanotube-Based Flexible Monopole Antenna Fabricated Using Poly (Methyl Methacrylate)-Supported Transfer Technique
3. 学会等名 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinji Koh
2. 発表標題 CVD Graphene-Based Optically Transparent Antennas
3. 学会等名 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SYSTEM INNOVATION 2023 (ICSAI2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 國府 慶、畑田 要、奥田 峻太、渡辺 剛志、黄 晋二
2. 発表標題 FeCl ₃ を用いた3層積層グラフェンへのインターカレーション
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 畑田 要、國府 慶、奥田 峻太、渡辺 剛志、黄 晋二
2. 発表標題 グラフェン上に作製したコプレーナ導波路を用いたミリ波帯における単層及び3層グラフェンの伝送損失評価
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 堀田 唯音、黒松 将、渡辺 剛志、黄 晋二
2. 発表標題 Dip-and-Dry法による単層カーボンナノチューブインク高導電布の作製
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 光石 幹、横式 康史、徳田 崇、永田 駿一郎、渡辺 剛志、黄 晋二
2. 発表標題 CMOS集積回路とCVD成長グラフェンの接続特性評価
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 菅原大翔、渡辺剛志、栄長泰明、黄晋二
2. 発表標題 ダイヤモンドゲート電極を用いたグラフェンFETの遊離塩素センサへの応用
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木純一郎、渡辺剛志、黄晋二
2. 発表標題 CVDグラフェンを用いたZスキーム光触媒の作製と評価
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本恵里、大沼佑貴、松井文彦、黄晋二
2. 発表標題 光電子運動量顕微鏡を用いたIr(111)/ γ -Al ₂ O ₃ (0001)上CVDグラフェンの価電子帯分散マッピング
3. 学会等名 UVSORシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田圭太、黒松将、松本壮太、須賀良介、渡辺剛志、仁科勇太、黄晋二
2. 発表標題 グラフェンインクを用いた2層型電波吸収体の作製と評価
3. 学会等名 第49回炭素材料学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑野匠邦、黒松将、松本壮太、須賀良介、渡辺剛志、仁科勇太、黄晋二
2. 発表標題 レーザ誘起法によって作製した炭素系導電膜を用いたパッチ型電波吸収体
3. 学会等名 第49回炭素材料学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本壮太、桑野匠邦、仁科勇太、須賀良介、黄晋二
2. 発表標題 レーザ誘起法でポリイミドに作製した炭素系導電膜を用いたスクエアパッチアレー電波吸収体
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 橋本修、黄晋二（第2章担当）	4. 発行年 2023年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 289
3. 書名 ワイヤレス電力伝送と5G通信の連携・融合に向けた干渉対策と展望	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>黄研究室HP http://www.ee.aoyama.ac.jp/koh-lab/index.html 黄研究室Webページ http://www.ee.aoyama.ac.jp/koh-lab/index.html ナノカーボンデバイス工学研究所Webページ https://www.aoyama.ac.jp/research/research-center/project-research-inst/nano-carbon-device-engineering-laboratory/</p>

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	須賀 良介 (Suga ryosuke) (20398572)	青山学院大学・理工学部・准教授 (32601)	
研究分担者	渡辺 剛志 (Watanabe Takeshi) (30803506)	青山学院大学・理工学部・助教 (32601)	

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