

Oral presentation 17 Nanocarbon and Two-Dimensional Materials : 17.2 Graphene

📅 Wed. Sep 20, 2023 1:00 PM - 4:15 PM JST | Wed. Sep 20, 2023 4:00 AM - 7:15 AM UTC | 🏢 A306 (KJ Hall)

[20p-A306-1~12] 17.2 Graphene

Akinobu Kanda(Univ. of Tsukuba)

1:00 PM - 1:15 PM JST | 4:00 AM - 4:15 AM UTC

[20p-A306-1] Photo-switching effect of graphene photogated diode

○Masaaki Shimatani¹, Shoichiro Fukushima¹, Manabu Iwakawa¹, Shinpei Ogawa¹ (1.Mitsubishi Electric)

1:15 PM - 1:30 PM JST | 4:15 AM - 4:30 AM UTC

[20p-A306-2] Uncooled infrared photodetectors using graphene/pyroelectric nanosheet MEMS structure

○Shoichiro Fukushima¹, Masaaki Shimatani¹, Manabu Iwakawa¹, Shinpei Ogawa¹ (1.Mitsubishi Electric Corp.)

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[20p-A306-3] hBN/Graphene-based advanced functional infrared sensors

○Shinpei Ogawa¹, Shoichiro Fukushima¹, Masaaki Shimatani¹, Manabu Iwakawa¹ (1.Mitsubishi Electric Corp.)

◆ English Presentation

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[20p-A306-4] Tin-Nanoparticles Functionalized Graphene Gas Sensor

○(P)Pradeep Kumar Badiya¹, Md. Zahidul Islam¹, Manoharan Muruganathan², Hisashi Maki², Afsal Kareekunnnan¹, Shohei Enomoto², Yosuke Onda², Masashi Hattori², Hiroshi Mizuta^{1,3} (1.JAIST, 2.TAIYO YUDEN CO.,LTD., 3.Univ. of Southampton)

◆ English Presentation

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[20p-A306-5] Detection of acetone gas molecules from the human skin using Zeolite functionalized Graphene FET gas sensor

○(P)Sankar Ganesh Ramaraj¹, Haolong Zhou¹, Yamahara Hiroyasu¹, Tabata Hitoshi¹ (1.Univ. of Tokyo)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[20p-A306-6] Brush type sensor with multi-detection system

○Haruki Nakamura^{1,2}, Satoko Honda¹, Guren Matsumura¹, Kohei Nakajima³, Kuniharu Takei² (1.Osaka Metro. Univ., 2.Hokkaido Univ., 3.Univ. Tokyo)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[20p-A306-7] Electrical detection of amine gases at parts-per-billion level using graphene field-effect transistors with ionic liquid

○(B)Kazuki Kikawada¹, Takashi Ikuta¹, Kenzo Maehashi¹ (1.Tokyo Univ. of Agri. and Tech.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[20p-A306-8] Resonance control of weakly coupled two nano-electro-mechanical resonators

○Shun Kawahara¹, Taiga Shinohara¹, Keiichiro Yamamoto¹, Nobuhiko Yokoshi¹, Takayuki Arie¹, Seiji Akita¹ (1.Osaka Metro. Univ.)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[20p-A306-9] Evaluation of electrical properties in graphene - n-type SiC junction

○Hideyo Yokome¹, Yasuhide Ohno¹, Masao Nagase¹ (1.Tokushima Univ.)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[20p-A306-10] Transfer of 2D materials using polyvinyl chloride

○Momoko Onodera¹, Taketo Hashimoto², Kenji Watanabe³, Takashi Taniguchi³, Tomoki Machida¹ (1.IIS, Univ. of Tokyo, 2.Riken Technos Corp., 3.NIMS)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[20p-A306-11] Negative capacitance characteristics of GO/Cu structure

○(M1)Hikaru Yasunaga¹, Hiroyuki Sakai¹, Shogo Noda¹, Yong Sun¹ (1.Kyuko Inst.)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[20p-A306-12] Fabrication of graphene devices using vacuum-heated catalytic microstructures

○(M2)Tatsuya Kataoka¹, Agus Subagyo¹, Makoto Satou¹, Makoto Owada¹, Fujiya Yoshino¹, Eiji Hatta¹, Kazuhisa Sueoka¹ (1.Hokkaido Univ.)

グラフェン光ゲートダイオードにおける光スイッチング効果

Photo-switching effect of graphene photogated diode

三菱電機株式会社

嶋谷 政彰, 福島 昌一郎, 岩川 学, 小川 新平

Mitsubishi Electric Corp.

◎Masaaki Shimatani, Shoichiro Fukushima, Manabu Iwakawa, and Shinpei Ogawa

E-mail: Shimatani.Masaaki@bk.MitsubishiElectric.co.jp

【背景】我々は、光ゲート効果¹⁾³⁾を応用したグラフェンと半導体のヘテロ構造であるグラフェン光ゲートダイオード(GPD: Graphene Photogated Diode)構造⁴⁾⁵⁾により、赤外線イメージセンサを実現した⁶⁾。GPDは光ゲート効果による光電流の増幅と暗電流の低減が可能であるため、高性能イメージセンサに最適である。今回、イメージセンサのさらなる高性能化のためにGPDの動作メカニズムについて理論化を行ったので報告する。

【結果】Figure 1(a)にグラフェン/Siヘテロ接合に基づくGPDのグラフェン/Si接合界面のバンド構造を示す。Siの最表面は自然酸化膜を有するため、自然酸化膜バリア層を備える。逆バイアス印加時においてグラフェン/Si界面には空乏層が形成され、フェルミレベルが qV 変化する。光を照射するとSi基板内に光キャリアが生成され空乏層幅に変化が生じる。これによりSi/自然酸化膜を介してグラフェンに対して光ゲート効果が生じ、グラフェンのフェルミレベルは qV_{ph} 変化する。その結果、ショットキー障壁 Φ_s は $\Delta\Phi_s$ だけ小さくなるため、主要キャリアである正孔がグラフェンからSiへ注入される。このため、巨大な光電流を得ることができる。Figure 1(b)に自然酸化膜が1~2.5 nmのときの光照射によるショットキー障壁の変化量 $\Delta\Phi_s$ と電流密度の差分(J_0 :暗時、 J_1 :光照射時)を示す。自然酸化膜が1 nmのとき、光照射により $\Delta\Phi_s$ が0.3 eV変化するため、得られる電流は 10^5 倍に増幅される。つまり、グラフェンとSi界面に存在する薄い自然酸化膜層において生じる光ゲート効果により、極めて大きな光電流を得ることができる。光によって障壁間を流れる電流がスイッチングされることから、この効果を「光スイッチング効果」と呼ぶ。光スイッチング効果はSi以外にも他の吸収波長を有する半導体材料を用いることで可視光以外の波長域にも適用可能である。詳細は当日発表する。

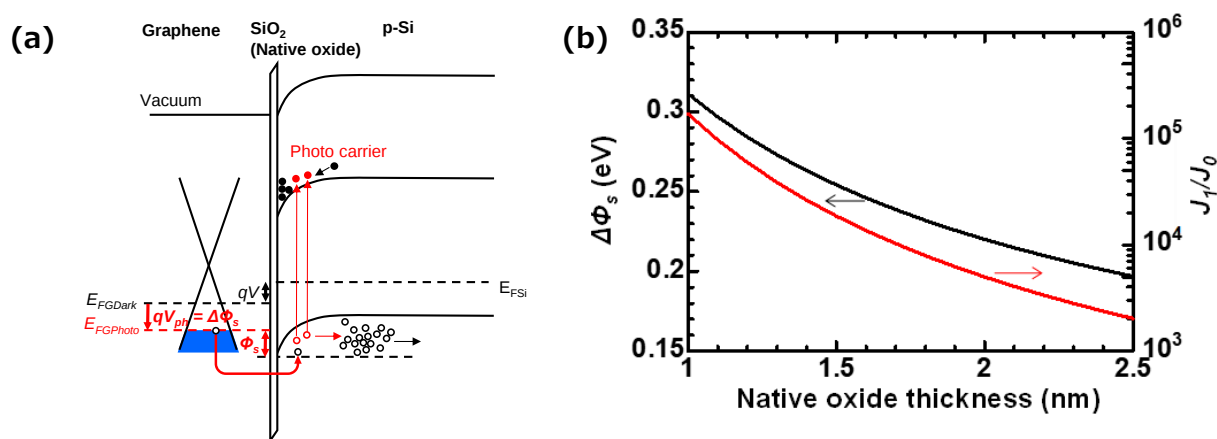


Figure 1 (a) Mechanism of the GPD with a native oxide barrier layer, (b) calculated $\Delta\Phi_s$ and J_1/J_0 as functions of the native oxide layer thickness.

【謝辞】本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。

【参考文献】¹⁾ M. Shimatani *et al.*, *AIP Adv.* **6** (3), 035113 (2016). ²⁾ S. Fukushima *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **113**, 061102 (2018). ³⁾ M. Shimatani *et al.*, *Appl. Phys. Exp.* **12** (2), 025001 (2019). ⁴⁾ S. Fukushima *et al.*, *Opt. Lett.* **44** (10), 2598 (2019). ⁵⁾ M. Shimatani *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **117**, 173102 (2020). ⁶⁾ 嶋谷政彰、他、第70回応用物理学会春季講演会 2023年3月17日。

グラフェン/強誘電体ナノシート MEMS 構造を用いた非冷却赤外線検出器

Uncooled infrared photodetectors using graphene/pyroelectric nanosheet MEMS structure

三菱電機株式会社

○福島 昌一郎, 嶋谷 政彰, 岩川 学, 小川 新平

Mitsubishi Electric Corp.

°Shoichiro Fukushima, Masaaki Shimatani, Manabu Iwakawa, and Shinpei Ogawa

E-mail: Fukushima.Shoichiro@cb.MitsubishiElectric.co.jp

【背景】我々は主に光ゲート効果を用いたグラフェン光検出器を開発しており¹⁻⁶⁾、冷却型グラフェン赤外イメージセンサを世界に先駆けて報告した⁷⁾。そこで更なる普及に向けて、室温下において高性能に赤外線を検出可能な次世代グラフェン赤外線検出器を提案する。前回の応用物理学会において、MEMS (Micro Electro Mechanical System) 構造にグラフェンを適用することで、非冷却下で赤外線検出可能であることを実証した⁸⁾。今回は赤外線増感材として強誘電体ナノシートを挿入したグラフェン MEMS 構造を試作し、赤外線検出特性を評価した。

【作製・評価】Figure 1(a) に素子の模式図及び光学顕微鏡像を示す。支持基板には p 型 Si、絶縁層に TEOS-SiO₂、ドレイン電極及び支持脚には Cr 及び Au 金属膜、赤外線増感材として用いる強誘電体ナノシートには ALD (Atomic Layer Deposition) 法で形成した LiNbO₃、そしてダイオードチャネルには化学気相成長法で合成したグラフェンを用いた。真空室温環境下において素子に -2 nA のドレイン電流を印可し、波長 8.0 μm 、光量 84.1 nW の長波長赤外線を照射した際の応答特性を評価した。

【結果】Figure 1(b) に 8 μm 長波長赤外線照射時と非照射時のドレイン電流の時間変化を示す。光照射に応じた素子の電流変化を確認した。詳細な結果については当日報告する。

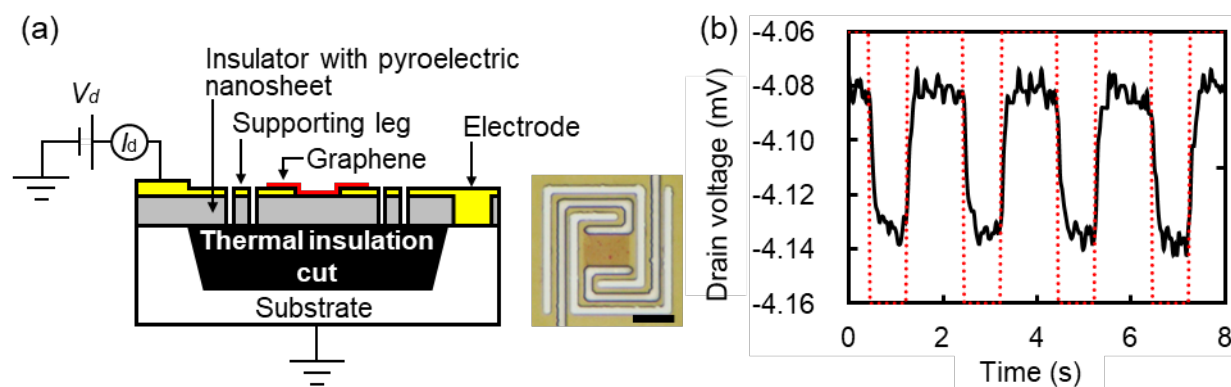


Fig. 1 (a) Schematic illustration of graphene/pyroelectric nanosheet MEMS-based uncooled infrared photodetectors. Inset: light microscopy image of the device. Scale bar: 10 μm . (b) Photo-response of the devices under 8 μm pulsed laser light irradiation.

【参考文献】1) M. Shimatani *et al.*, *AIP Adv.* **6** (3), 035113 (2016). 2) S. Fukushima *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **113**, 061102 (2018). 3) M. Shimatani *et al.*, *Appl. Phys. Exp.* **12** (2), 025001 (2019). 4) S. Ogawa *et al.*, *Opt. Eng.* **58**, 057106 (2019). 5) S. Fukushima *et al.*, *Opt. Lett.* **44** (10), 2598 (2019). 6) M. Shimatani *et al.*, *Appl. Phys. Exp.* **12** (12), 122010 (2019). 7) 嶋谷他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会、17p-B309-19、2023/3/17. 8) 福島他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会、17p-B309-12、2023/3/17.

【謝辞】本研究は、防衛装備庁との契約に基づき実施しました。

hBN/グラフェンメタサーフェスによる高機能赤外線センサ

hBN/Graphene-based advanced functional infrared sensors

三菱電機株式会社 ○小川 新平, 福島 昌一郎, 嶋谷 政彰, 岩川 学

Mitsubishi Electric Corp.

°Shinpei Ogawa, Shoichiro Fukushima, Masaaki Shimatani, and Manabu Iwakawa

E-mail: Ogawa.Shimpei@eb.MitsubishiElectric.co.jp

【背景】前回、我々は世界初となるグラフェン赤外線イメージセンサを報告した¹。今回、第2世代として波長選択や偏光選択機能を有する高機能グラフェン赤外線イメージセンサを提案する。

【高機能化】従来の赤外線イメージセンサは、センサ単体で波長や偏光を検出することは不可能である。波長選択や偏光検知機能を付加することができれば、火災検知やガス検知、自然物や人工物の判別などを画像的に判別する高機能赤外線イメージセンサの実現が期待できる²。

【hBN/グラフェンメタサーフェス】そこで我々は Fig. 1(a)に示す通り、hBN/グラフェンを用いたメタサーフェス吸収体による波長/偏光検知吸収体を提案する³。hBN 下部には反射膜が配置され、グラフェン上にマイクロパッチが周期的に配置されている。電磁界解析によって求めた波長 2.0 μm 、7.0 μm における電界分布を Figs. 1(b, c)に示す。それぞれグラフェンを伝搬する表面プラズモン、hBN のハイパボリックフォノンポラリトンの特徴的なジグザグパターンが示されている。マイクロパッチ近傍で発生する局在表面プラズモン共鳴によりグラフェンの吸収が選択的に増強される。hBN をグラフェンの下地に用いることで、グラフェンの高い移動度を保持するだけでなく、中波長～長波長赤外にわたる広範囲な波長帯域での波長選択が可能になる。詳細は当日発表する。

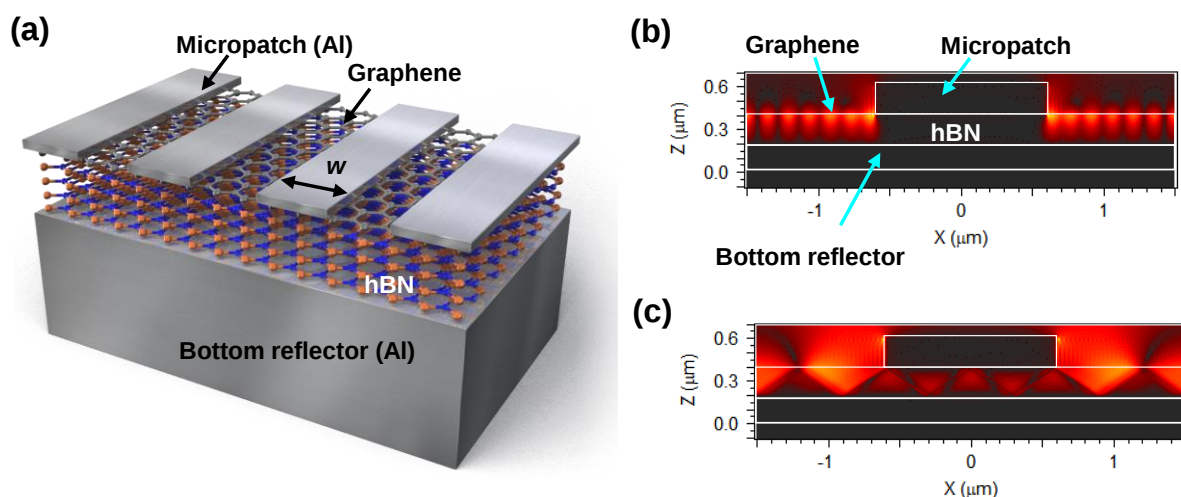


Fig.1 (a) Schematic of hBN/graphene-based metasurface. Calculated electric field distribution at the wavelength of (b) 2.0 μm and (c) 7.0 μm .

【謝辞】本研究の一部は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。

【参考文献】

1. 嶋谷政彰, 福島 昌一郎, 岩川 学, 小川 新平, 第 70 回応用物理学会春季講演会 2023 年 3 月 17 日.
2. S. Ogawa and M. Kimata, Materials 10, 493 (2017).
3. S. Ogawa, S. Fukushima, and M. Shimatani, J. Opt. Soc. Am. B 39, 3149 (2022).

Tin-Nanoparticles Functionalized Graphene Gas Sensor

P. K. Badiya¹, Md. Z. Islam¹, M. Muruganathan^{2*}, H. Maki², A. Kareekunnnan¹, S. Enomoto², Y. Onda², M. Hattori², and H. Mizuta^{1,3}

¹Japan Advanced Institute of Science and Technology, ²TAIYO YUDEN CO., LTD. ³University of Southampton

*e-mail: mano@jaist.ac.jp

Detection of ethanol-gas has gained a lot of importance, especially in the determination of liver function in humans. It is also necessary in the food industries in safety control procedures. However, minute levels of ethanol-gas (in *ppb*) get released from the skin. An extremely sensitive and selective sensor with low limit-of-detection (LoD) capability is needed to detect the low concentration of ethanol-gas, even in the atmospheric air. With excellent electrical properties like low electronic noise, high surface area to volume ratio, high mobility, graphene can be of great choice for sensing single molecules¹. However, graphene sensors are not highly selective for any specific gas. Alternatively, Tin metal oxides acts as a highly selective material in sensing ethanol-gas². However, only 100 ppm LoD could be achieved at 170 °C. Addressing this lacuna, we have fabricated a graphene sensor functionalized with tin oxide nanoparticles as an olfactive receptor to enhance the sensitivity towards ethanol-gas.

The source-drain electrodes consisting of Au/Cr (70/5 nm) were fabricated on the CVD graphene-transferred SiO₂/Si substrate by Electron-Beam (EB) Lithography and EB evaporation. The graphene channel length was fixed to 200 nm (square), and then are covered with tin nanoparticles of 1- and 2-nm by thermal evaporation. Figure 1(a) portrays a typical fabricated device. Nitrogen-gas mixed with ethanol-gas was introduced at different concentrations and the gate voltage shift, charge neutrality point (CNP) was assessed for gas sensing. While performing gas sensing, atmospheric air was introduced at 200 Torr pressure initially into the chamber followed by ethanol gas. Later, additional air was introduced until the chamber pressure reached 600 Torr. This resulted in the uniform mixing dilution of ethanol-gas in the atmospheric air. We have tested the device for other gases and the CNP shift of the fabricated graphene sensor for 5 different gases at 2 ppm concentration was shown in Figure 1(c). A large CNP shift of 19.22 V was observed for ethanol gas. Figure 1(b) shows a negative CNP shift, indicating the n-doping nature of ethanol-gas.

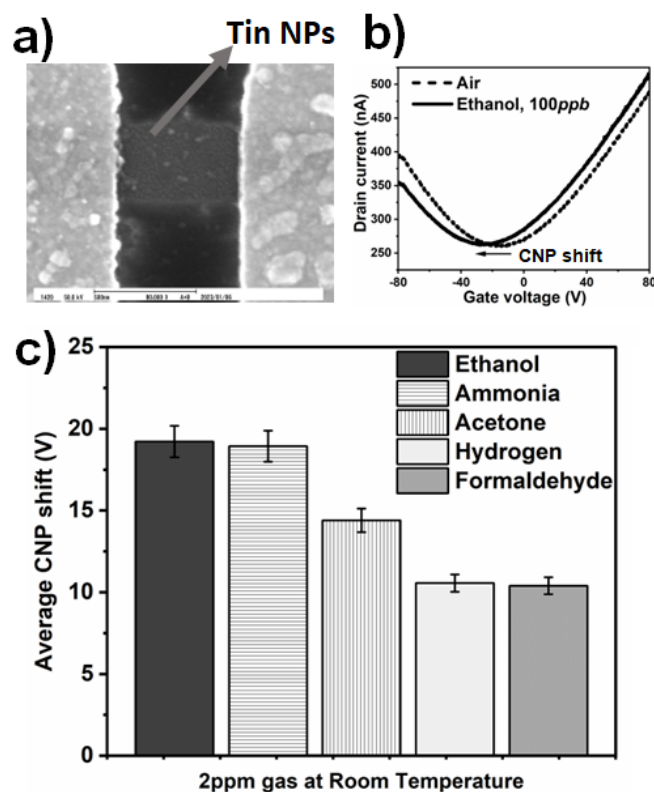


Figure 1. (a) The SEM image of a typical fabricated device, (b) Id-Vg characteristics for 100ppb Ethanol gas molecule sensing, and (c) Average CNP shift for 2 ppm concentration of five different gases in the atmospheric air at room temperature.

This signifies that more electrons are transferred to the graphene channel, which leads to the negative shift in the CNP. Thus, the tin nanoparticles functionalized graphene sensors show a very high sensitivity in the air environment. We have also realized a LoD of 100 ppb Ethanol-gas sensing in the presence of air with the tin-oxide based graphene sensor.

Acknowledgments: This research is supported by TAIYO YUDEN CO., LTD.

References:

- [1] J. Sun, M. Muruganathan, and H. Mizuta, *Sci. Adv.* 2, e1501518 (2016).
- [2] B. J. Wang, S. Y. Ma, *Vacuum* 177, 109428 (2020).

Detection of acetone gas molecules from the human skin using Zeolite functionalized Graphene FET gas sensor

Univ. of Tokyo ^a, (P) Sankar Ganesh Ramaraj ^a, H. Zhou ^a, H. Yamahara ^a, H. Tabata ^a

*E-mail: ramaraj@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

Wearable skin gas analyzer has garnered enormous attention in recent times towards noninvasive clinical diagnosis and wearable health monitoring applications [1]. Various gas molecules emitted from the human skin have been identified as valuable biomarkers for detecting diseases, physical conditions and physiological changes in the human body. Among the many biomarkers emitted from human skin, acetone is expected to be a good indicator of diabetes and fat metabolism which is associated with diet and aerobic exercise [2]. Developing a wearable skin gas sensor to detect acetone gas molecules emitted from the skin would be a significant tool for the early detection of diabetes stages and fat control in humans. However, detecting acetone gas at a low concentration (parts per billion (ppb)) is typically present in the real-time environment and poses a challenge with commercially available sensors [2]. Recently, graphene has attracted much attention as a promising material in the detection of toxic gases due to its excellent physical and chemical properties such as high carrier mobility, single-atom thickness, and large surface area. These properties drive graphene as an ideal material for the field-effect transistor (FET) sensor. Herein, we report the fabrication of Zeolite functionalized chemical vapor deposition (CVD) graphene nanoribbon FET (ZF-GNR) to detect acetone gas in a real air environment.

Figure 1(a) shows the schematic illustration of the fabricated ZF-GNR sensor. Figure 1(b) displays the Raman spectrum of ZF-GNR. The results showed strong peaks at 1599 cm^{-1} (G band) and 2696 cm^{-1} (2D), confirming the GNRs were monolayer. In addition, the peaks at 380 cm^{-1} and 500 cm^{-1} confirm the MFI structure of Zeolite and consist of even-membered rings [3]. The other peaks indicate the formation of zeolite on the surface of graphene. Fig.1c shows the I_d vs V_d measurement of the initial and transfer characteristics of Z-GNR. A typical Ohmic contact between the Z-GNR channel and metal electrode was observed. The porosity of zeolite in the ZF-GNR will enhance the gas sensing response and selectivity of the ZF-GNR gas sensor. Furthermore, tuning the back gate voltage ($V_g = +20$ & -20) will enhance the sensitivity and selectivity of the device by promoting the adsorption/desorption of gas molecules on the surface of graphene. Details of acetone gas sensing and sensing mechanisms will be discussed during the presentation.

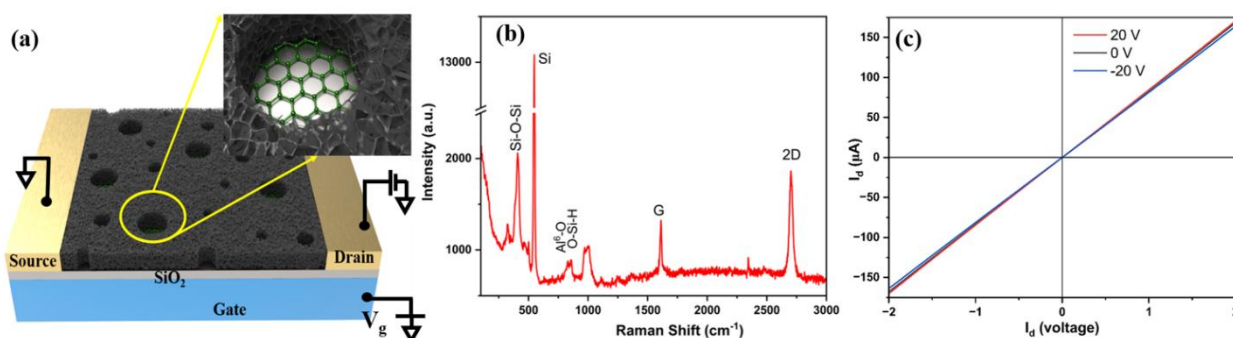


Figure 1 (a) Schematic illustration of ZF-GNR sensor, (b) Raman analysis of ZF-GNR, (c). Output characteristics Z-GFET with the bias range from -20 to +20.

Acknowledgements: This research is supported by Grant-in-Aid for Scientific Research No 20H05651, JP22K18804, JP23H04099 and 21K14510 from the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), AMED under Grant Number JP22zf0127006 and JST CREST (JPMJCR22O2).

Reference [1]. Tianyiyi He et al., Anal.Chem.2023,95,490–514. [2]. Y.Yamada et al., ACS Anal.Chem.2015,87,7588–7594, [3]. O.Attila et al.,Chem. Eur. J. 2019, 25, 7158-7167.

ブラシ型センサを用いたマルチ検知システムの開発

Brush type sensor with multi-detection system

大阪公大¹, 北海道大², 東大³ ○中村 悠希^{1,2}, 本田 智子¹, 松村 紅怜¹, 中嶋浩平³,
竹井 邦晴²

Osaka Metro. Univ.¹, Hokkaido Univ.², Univ. Tokyo³, °H. Nakamura¹, S. Honda¹, G. Matsumura¹,
K. Nakajima³, K. Takei²

E-mail: sa22956z@st.omu.ac.jp

【はじめに】Internet of Things (IoT) 社会が発展するに伴い、様々なセンサへの需要が高まっている。その中でも、歯ブラシなどのブラシの動きの計測が可能になれば、歯磨きのリアルタイムモニタリングができ、歯の健康を守るための一助になると考えられる。しかし、そのようなブラシの動きを計測できるセンサシステムはまだ十分に開発されていない。そこで本グループでは、レーザー誘起させたグラフェンを用いた、ブラシの動きを計測できるフレキシブル圧力センサの開発を行っている。本研究では、そのフレキシブルセンサから得られる信号に対してリザーバーコンピューティング(RC)解析を行い、動きの速さ、曲げ量の検知システムの開発をしたので報告する。

【検知方法】本グループで作製したフレキシブルセンサを図 1a に示す。本デバイスは 4 つの圧力センサを搭載しており、このセンサ上のブラシ部分に上から圧力を加えた状態でブラシを左右に動かすことで、教師データの測定を行った。その際、運動の速さも変化させ、異なる動きの速さ、曲げ量に応じたデータを取得した。そのデータを学習させた RC 解析によって、教師データとは異なるデータに対して動きの速さ、曲げ量の検知を行った。

【実験結果】図 1b にセンサ 1、3 方向に連続的に動かした際のフレキシブルデバイス上の 4 つのセンサの測定結果を示す。このように動きの速さに応じて安定して抵抗値が変化することを確認した。これらの出力結果を RC 解析とリッジ回帰により速さの検知を行った(図 1c)。その結果、速さ(0~100mm/s)の検知を平均平方二乗誤差(RMSE) 10 以下の精度で行うことに成功した。同様に、曲げ量に関しても抵抗値の変化として確認できており、曲げ量(-5~5 mm)の検知を RMSE<0.8 の精度で行うことに成功した。

【まとめ】本研究では、ブラシの動きの検知を目指したフレキシブル圧力センサシステムの提案を行い、RC 解析により速さ、曲げ量の検知に成功した。

【謝辞】本研究の一部は、基盤研究 A (JP22H00594)、JST AIP 加速課題 (JPMJCR21U1)の支援のもと実施されたものです。

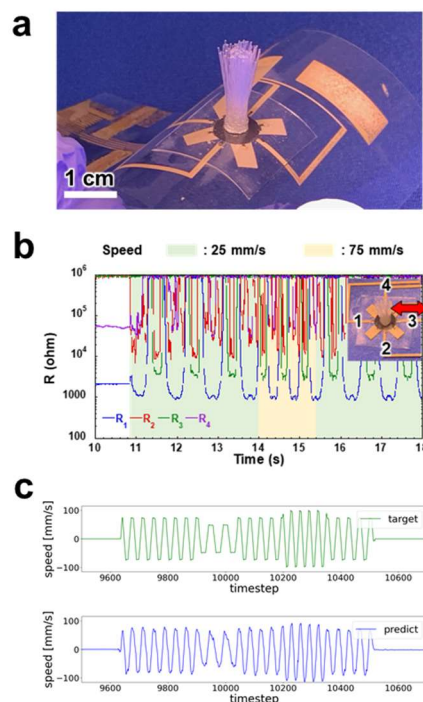


Fig1. (a) Photo of flexible brush sensor. (b) Sensor outputs against speed. (c) Detection result of speed.

イオン液体を用いたグラフェン FET による アミン類の ppb 領域での電氣的検出

Electrical detection of amine gases at parts-per-billion level
using graphene field-effect transistors with ionic liquid

東京農工大 ○(B)木川田 和希, 生田 昂, 前橋 兼三

Tokyo Univ. of Agriculture and Technology ○Kazuki Kikawada, Takashi Ikuta, Kenzo Maehashi

E-mail: s205188w@st.go.tuat.ac.jp

悪臭防止法の規定に基づく特定悪臭物質の規制基準は ppb 領域で定められている場合が多く、例としてトリメチルアミン (TMA) では 5 ppb から 70 ppb である[1]。特定悪臭物質の濃度は、主にガスクロマトグラフ法により分析されている。しかしながら、従来の方法では大型の装置や専門知識が必要であり、簡便で高感度に検出することができる小型デバイスの開発が求められる。

グラフェンは、高いキャリア移動度、化学的安定性、比表面積が大きいといった特徴を有しており、微量領域に対する高感度センサが実現されている[2]。しかしながら、グラフェン単体では低濃度のガスを高感度に検出することは難しい。そこで本研究では、常温で液体として存在する塩であり、ガス吸収性が報告されているイオン液体を用いることで ppb 領域でのアミン類の検出を目指した。

CVD 法により銅箔上にグラフェンを合成し、電極 (Cr/Au) が蒸着された Si/SiO₂ 基板上に転写することでグラフェン電界効果トランジスタ (G-FET) を作製した。その後、作製した G-FET 上にイオン液体を滴下してガス応答測定を行った。Fig.1 に大気雰囲気での TMA (5~800 ppb) 導入後の伝達特性を示す。TMA 導入に伴い、ディラックポイント電圧 (V_{DP}) が負方向にシフトしていることが確認された。これは、イオン液体中に TMA が溶け込んだことによるものと推測される。次に、Fig.2 にシフト量の濃度依存性を示す。TMA の濃度の増加に伴い、シフト量が増加することが確認された。

以上より、悪臭防止法による TMA の規制基準近傍での検出に成功したといえる。

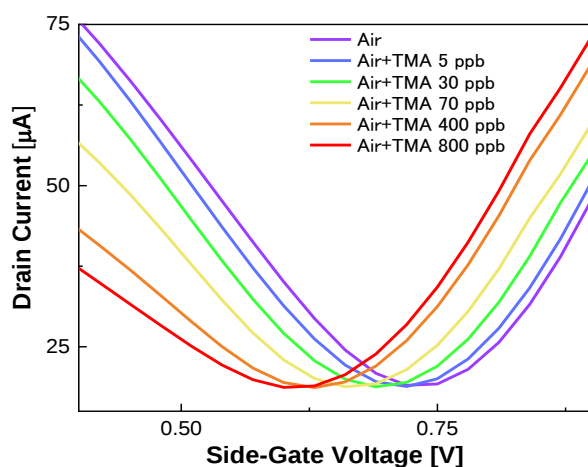


Fig.1. Transport characteristics in TMA detection.

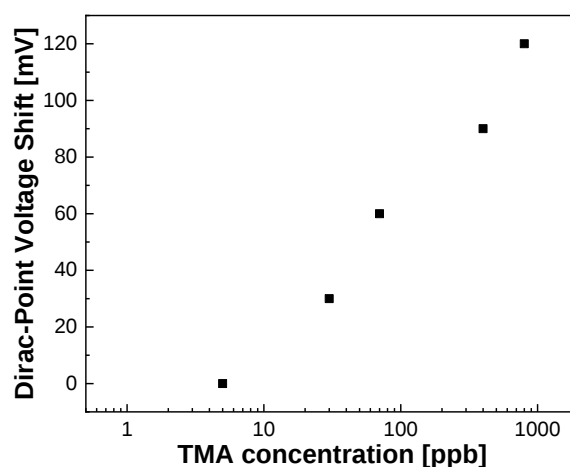


Fig.2. TMA concentration dependence of V_{DP} shifts.

Ref. [1] 臭気対策行政ガイドブック「表 2-2 規制基準が設定される特定悪臭物質名と臭気強度に対応する濃度」 [2] T. Ikuta et al., *Nanoscale Adv.* **3** (2021) 5793

弱く結合した 2 つのナノ電気機械共振器の振動制御

Resonance control of weakly coupled two nano-electro-mechanical resonators

大阪公大工, °川原隼, 篠原大芽, 山本恵一朗, 余越伸彦, 有江隆之, 秋田成司

Osaka Metro. Univ. °S. Kawahara, T. Shinohara, K. Yamamoto, N. Yokoshi, T. Arie, S. Akita

E-mail: si23052v@st.omu.ac.jp

はじめに グラフェンは二次元材料であり、優れた電氣的・機械的特性を有している。それにより、ナノ電気機械共振器 (NEMS) による高感度力計測や、共振モードの重ね合わせによる量子に関わる現象の再現などの応用が期待されている。本研究ではフォノンカップリングを制御した NEMS を目指し、従来の 1 つのグラフェンドラム型機械共振器ではなく、2 つのグラフェンドラム型機械共振器をグラフェンのブリッジで機械的に結合させた構造を作製し、その機械的共振特性を調べた。

実験 Si/SiO₂ 基板上にフォトリソグラフィを用いて電極を作製した後、CVD 法で合成した単層グラフェンを転写し成形した。次に、宙づりされている 2 つの結合したグラフェンのドラム構造をつくるために、グラフェン部分直下の SiO₂ を BHF によりエッチングし、それぞれが直径 6 μm の 2 つの結合したドラム型グラフェン機械共振器を作製した (Fig. 1)。機械的共振特性は、張力依存性を調べるために、Si 基板に直流電圧 V_g を印加し、Si 基板とグラフェン間に交流電圧を印加して加振し、FM 検出法により測定した。

結果と検討 ゲート電圧 V_g を変化させたときの共振周波数の変化を Fig. 2 に示す。グラフ中の暖色の線は振幅が大きくなっている部分であり、共振を示す。赤色の矢印で示された共振が、 V_g に依存して共振周波数が大きくなっていることを示している。また、同様の傾向が黄色、緑色の矢印で示された共振においても観測される。 V_g が 5V において、赤色、黄色、緑色の矢印の共振周波数はそれぞれ、7.1 MHz、8.9 MHz、10.5 MHz である。ここで、ドラムが 1 つの機械共振器の場合、このような狭い周波数範囲内においては、共振は 1 つしか観測されない。Fig. 2 で見られる複数個の共振は、2 つの結合したドラム由来であることが分かる。この様に、2 つの弱く結合したグラフェンドラム型機械共振器の実現に成功した。今後は、NEMS である結合した 2 つのナノ電気機械共振器で観測される複数個の共振状態間でのモードカップリングに関する検討を進めていく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP 21H05019, JP21K18193, JP21K18880 で行われた。

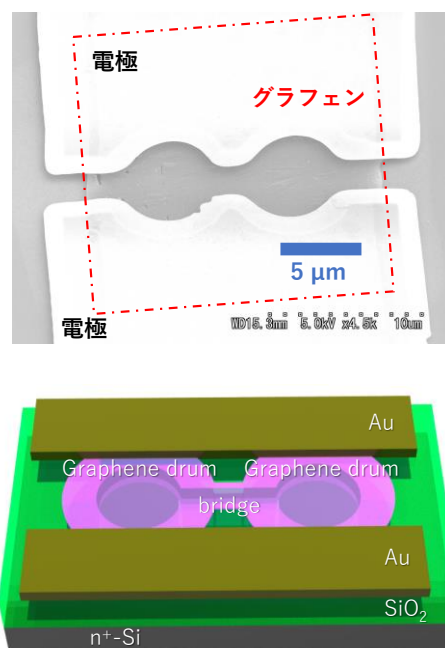


Fig. 1 SEM image and schematic of coupled graphene drum resonators

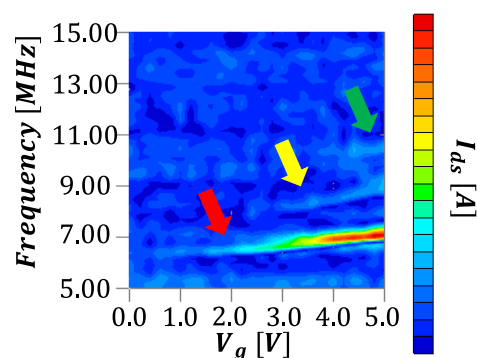


Fig. 2 Color scale plot of resonance curve as a function of gate voltage V_g
 $V_g = 0 \sim 5$ V (0.2 V step)

グラフェン-n 型 SiC 接合における電気特性評価
Evaluation of electrical properties in graphene - n-type SiC junction

徳島大学, °横目 英世, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫

Tokushima Univ., °Hideyo Yokome, Yasuhide Ohno, Masao Nagase

E-mail: h_yokome@ee.tokushima-u.ac.jp

研究背景：グラフェン-SiC 接合はショットキー接合を形成することが確認されている。しかし、エピタキシャルグラフェンと SiC の接合は未知な部分が多く、デバイス化には界面の特性評価が重要である。本研究では、原子間力顕微鏡 (AFM)を用いてグラフェン/バッファ層/n 型 SiC 接合の電気特性に関して検討を行った。

実験方法:n 型の 4H-SiC 基板を Ar(100Torr)雰囲気中、1643℃でアニールし、単層被膜率 15.6%のエピタキシャルグラフェン試料を作製した。AFM5500M (日立ハイテック) によりロジウムコートした導電性プローブを用いて、試料の形状像及び電流像を取得した。またバッファ層領域及び単層グラフェン/バッファ層領域での電流-電圧特性を測定した。

結果：Fig.1(a),(b)は走査エリア 400nm で測定した試料表面の形状像およびプローブ電圧+1.5V での電流像である。Fig.1(a)において、ステップの左側はバッファ層領域であり、SiC の熱分解により低くなった右側は単層グラフェン領域である。Fig.1(b)の電流像より、バッファ層領域に比べ単層領域では大きな電流が流れていることが分かる。Fig.2 は、バッファ層領域および単層領域における電流-電圧特性を表している。バッファ層領域および単層領域ともに整流性が観測される。順方向特性から見積もったグラフェン/n 型 SiC のショットキー障壁高さは 0.32eV であり、バッファ層/n 型 SiC の障壁高さ 0.49eV に比べ小さいため大きな電流が流れる。逆方向バイアスではバッファ層領域で 10V 以上耐圧があるのに対し、単層領域は約 0.5V 付近で急激に電流が流れることが分かった。

本研究は JSPS 科研費 21H01394 の助成を受けたものである。

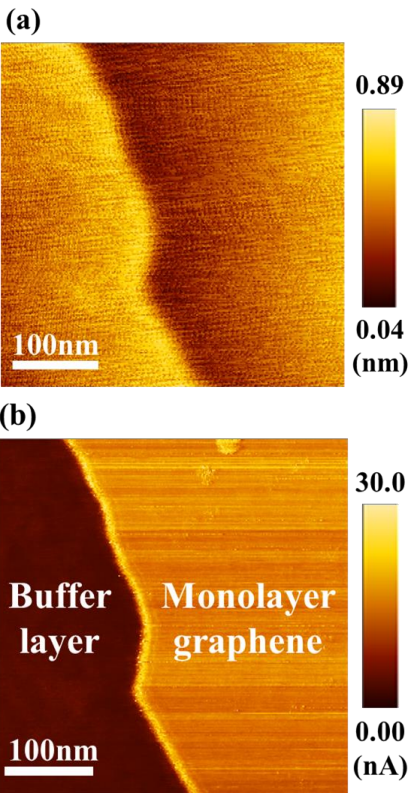


Fig.1: (a)Topographic image.
(b)Current image (+1.5V).

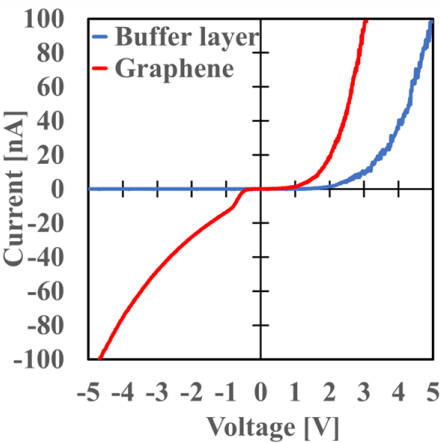


Fig.2: I-V curve of buffer layer/n-type SiC and graphene/buffer layer/ n-type SiC.

ポリ塩化ビニルを用いた原子層転写法の開発

Transfer of 2D materials using polyvinyl chloride

東京大学生産技術研究所¹, リケンテクノス株式会社², 物質・材料研究機構³

○小野寺桃子¹, 橋本岳人², 渡邊賢司³, 谷口尚³, 町田友樹¹

Institute of Industrial Science, University of Tokyo¹, Riken Technos Corporation²,

National Institute of Materials Science³

○Momoko Onodera¹, Taketo Hashimoto², Kenji Watanabe³, Takashi Taniguchi³, Tomoki Machida¹

E-mail: monodera@iis.u-tokyo.ac.jp

独自に調合したポリ塩化ビニル (polyvinyl chloride, PVC) 膜を用いた原子層転写法を開発した。PVC 粉末をシクロヘキサノンに溶解し、可塑剤としてジオクチルテレフタレート (DOP) を混ぜて PVC 液を調合し、それを用いて軟質 PVC 膜を作製した。作製した PVC 膜をガラススライド上のポリジメチルシロキサン (PDMS) ドームに載せ、テープで固定した。この PVC/PDMS スタンプを駆動ステージに固定し、SiO₂ 上の原子層と接触させたのちに基板から引きはがすことで原子層を持ち上げることができる (図 1)。PVC 膜の変化による原子層持ち上げ条件の違いを検討するため、PVC の重合度、可塑剤量、膜厚等の条件を変化させて PVC 膜を作製し、原子層持ち上げ実験を行った。その結果、可塑剤量と膜厚により持ち上げ温度及び原子層との吸着力が変化させられることがわかった。これを用いると、PVC 膜から PVC 膜への原子層の移動が可能となる[1]。この技術は積層構造の上下を反転させる操作として応用可能であり、構造作製の可能性を広げるものである。

[1] M. Onodera *et al.*, Sci. Rep. **12**, 21963 (2022).

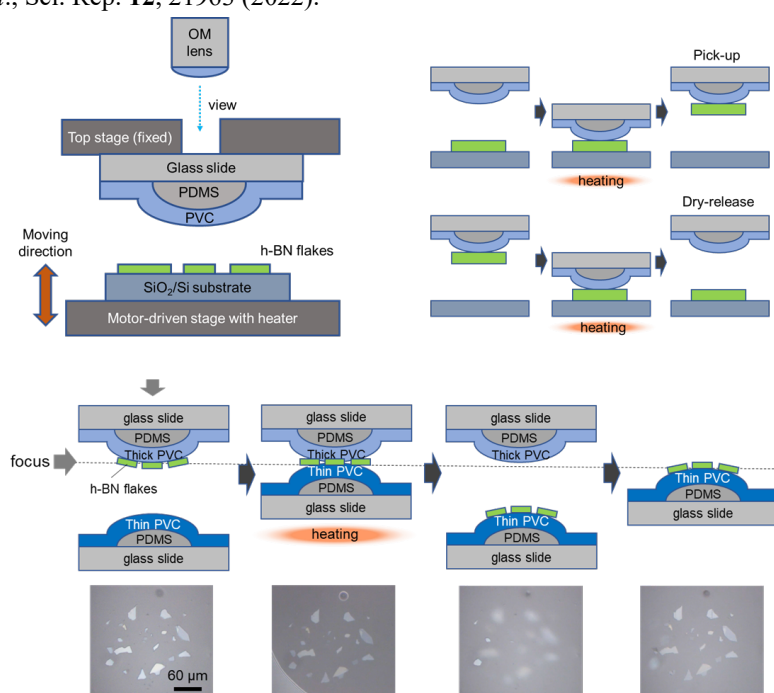


Fig. 1: Schematic and optical microscope images of the PVC transfer method.

GO/Cu 構造の負性容量特性

Negative capacitance properties of the GO/Cu structure

九工大工, ナノ材料およびデバイス研究室 安永 光, 酒井 啓行, 野田 将吾, 孫 勇

Nanomaterials and Devices Lab, Dept. Eng. KIT

Hikaru Yasunaga, Hiroyuki Sakai, Shogo Noda, Yong Sun

E-mail: yasunaga.hikaru361@mail.kyutech.jp

1. 緒言

トランジスタやキャパシタの性能向上において、「負性容量」が注目されている。これまでは一部の強誘電体にのみ見られる現象であったが、今回、酸化グラフェン (GO) において負性容量が観測され、GO の主な導電方法からトンネル電流が原因の一つではないかと考えられている。本研究では、この負性容量の原理について調査を行った。

2. 実験方法

ナノ酸化グラフェン粉末をプレスし、ペレット試料を作製した。試料の片面に導電性接着剤のついた Al 電極を付け、図 1 のようにチャンバー内に入れ、Cu 電極を上から被せた。上側の Cu 電極にはネジが取り付けられてあり、GO と Cu 間の距離を縮めることが出来る。インピーダンスアナライザを用いて距離、交流周波数と振幅、DCBIAS 等を変化させながら容量の測定を行った。

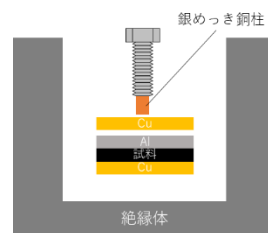


図 1 チャンバー内

3. 結果と考察

図 2 に真空中での DCBIAS 2.5 V、振幅 1 V における容量の周波数依存性を示す。周波数の増加に伴い容量は負の値から増加し、ピークを迎えた後一定値へと減少していった。10⁴ Hz 以下の領域では、周波数の増加に伴いトンネル電流と伝導電流が共に減少するため、容量は二つの電流の競合で決められ、ピークになった後、高周波領域では分極電流のみに起因する容量となり、一定になったと考えられる。低周波領域では GO と Cu 間の距離が近くなるほど伝導及びトンネル電流の寄与が増加し、容量のピークは大きく、負性容量も発生しやすくなったと考えられる。

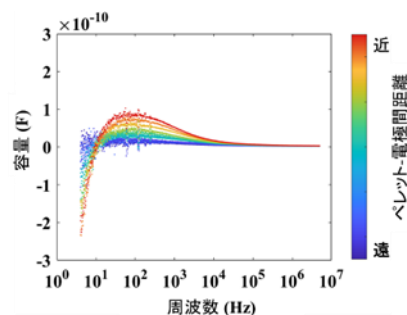


図 2 容量の電極-ペレット間距離依存性(真空中)

図 3 に大気中での振幅 1 V における容量の測定結果を示す。大気中ではすべての測定条件下において負性容量は見られなかった。トンネル電流が阻害されたことが原因と考えられる。

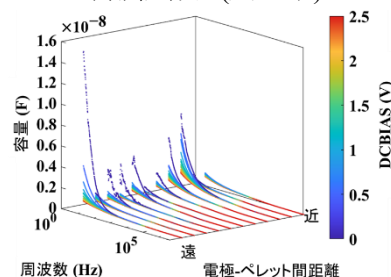


図 3 容量の電極-ペレット間距離依存性(大気中)

4. 結論

負性容量は真空中、低周波領域のみで見られた。また、大気中では観測されなかったことから負性容量にはトンネル電流が関係していると考えられる。

参考文献

- (1) 笠松秀輔:『強誘電体薄膜における「負のキャパシタンス」発現の第一原理シミュレーション』, 東京大学物性研究所, 56 巻, 11-16 (2016 年)
- (2) Yong Sun, Kenta Kirimoto, Hayami Hattori, Yuto Kitamura, Enda Fan, and Koichi Onishi: Electric field and oxygen concentration-dependent transport properties of nano-graphene oxide, J. Appl. Phys. vol. 9, 095010 (2019 年)

真空加熱した触媒微細構造を用いたグラフェンデバイス作製

Fabrication of graphene devices using vacuum-heated catalytic microstructures

北大院情[○](M2)片岡起也, Subagyo Agus, 佐藤真, 大和田真, 芳野藤也, 八田英嗣, 末岡和久

Graduate School of IST, Hokkaido Univ.

[○]T. Kataoka, A. Subagyo, M. Sato, M. Owada, F. Yoshino, E. Hatta and K. Sueoka

E-mail: tatsunootoshigo-1999@eis.hokudai.ac.jp

2次元材料グラフェンを応用するデバイスやシステムの性能は、グラフェン金属との接合の特性に決定的に依存する。グラフェン-金属接合の抵抗が低く再現性のあることは、グラフェンエレクトロニクスの実現に不可欠な要件である[1,2]。その重要性からこれまで様々な接合形成技術が開発され、様々な金属材料が使用されている[3-6]。しかし、同じ金属に対する接合抵抗 RC の値にはバラツキがあり、接合形成技術は確立されていない。また、一般的にグラフェンのデバイス基板への転写やデバイス作製プロセスにおいて、用いられるレジスト等の残渣・汚染が高い接合抵抗の要因として挙げられるため、グラフェン成長に用いられる金属基板からの転写や加工技術の改善、いわゆるレジストフリー工程が求められる。

グラフェン成長に応用されている技術の一つに金属誘起結晶化現象があり、Fig.1に示すように、Ni/C 二層膜を真空加熱することで基板表面にグラフェンが成長する技術である[7]。非晶質カーボンが金属触媒である Ni との相互作用によりグラフェンに結晶化する。さらに、並行して、Ni 薄膜の加熱により基板上での凝集が進行する。そこで本研究は、この現象を Fig. 2 に示す Ni/C 微細パターンに適用したレジストフリーのデバイス作製プロセスの有用性を検討した。本プロセスはグラフェンデバイス作製の課題である転写を必要とせず、低い接合抵抗を実現できる可能性がある。評価する点としては、チャンネル部グラフェンの有無、Ni 凝集によるギャップ形成である。

試料作製は、電子線リソグラフィを用いて SiO₂/Si 基板上にチャンネル幅を 100nm~500nm、チャンネル長 200~1000nm の電極パターンを作成し、Ni/C を電子線蒸着により成膜した。膜厚は Ni, C それぞれ 50nm, 4nm とした。真空度 1×10^{-3} Pa 以下、昇温時間 2 分、加熱時間 3 分、加熱温度 850°C の条件で真空加熱し、グラフェン成長を行った。チャンネル部のグラフェンの評価はラマン分光法、Ni ギャップ形成の確認には走査電子顕微鏡を用いた。チャンネル幅 500nm、チャンネル長 1000nm の電極パターンを加熱した結果、グラフェンの成長は確認できたが、デバイスの寸法の最適化を図る必要があり、詳細は当日報告する。

References:

- [1] K. S. Novoselov *et al.*, Science **306**, 666 (2004).
- [2] International Technology Roadmap for Semiconductors 2.0 (ITRS2.0), 2015 Edition, Semiconductor Industry Association.
- [3] G. Fiori *et al.* Nature Nanotechnology **9**, 768 (2014).
- [4] H. Liu, H. Kind and T. Ohno, Phys. Rev. B **86**, 155434 (2012).
- [5] S. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. **94**, 062107-1 (2009).
- [6] T. Chu and Z. Chen, ACS Nano **8**, 3584 (2014).
- [7] Rodriguez-Manzo *et al.*, ACS Nano **5**, 1529 (2011)

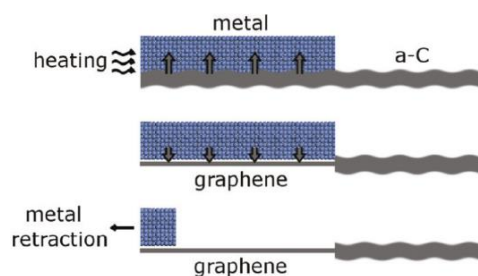


Fig. 1 Schematic drawing of graphene growth [7]

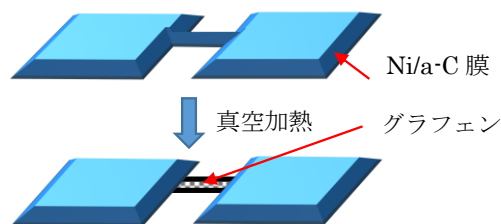


Fig. 2 Formation of Ni-graphene-Ni contact