



The Japan Society of Applied Physics

応用物理学会関西支部

平成 30 年度 第 1 回講演会

ナノ物性・ナノ構造デバイス研究の最前線

～関西若手研究者からの情報発信～

主 催：応用物理学会関西支部（URL：<http://jsap-kansai.jp/>）

共 催：神戸大学自然科学系先端融合研究環

スマート物質・材料工学重点研究チーム,

神戸大学大学院工学研究科先端スマート物質・材料研究センター

日 時：2018 年 5 月 11 日（金）13:00～20:00

場 所：神戸大学瀧川記念学術交流会館

〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

TEL: 078-803-5298

プログラム

第一部：

講演の部 瀧川記念学術交流会館 2F 大会議室

- 13:00～13:05 開会の辞 : 黒岩 丈晴 (支部長、三菱電機(株))
- 13:05～13:35 招待講演 1 : 尾崎 信彦 (和歌山大学)
「自己組織化 InAs/GaAs 量子ドットを用いた近赤外広帯域光源デバイス開発と
光コヒーレンストモグラフィーへの応用」
- 13:35～14:05 招待講演 2 : 田辺 克明 (京都大学)
「ナノ構造体を活用した太陽電池およびレーザーデバイス」
- 14:05～14:35 招待講演 3 : 加納 伸也 (神戸大学)
「ナノ粒子塗布膜を活用した高速応答湿度センサとその応用」
- 14:35～14:50 休 憩
- 14:50～15:20 招待講演 4 : 廣理 英基 (京都大学)
「高強度 THz パルス光源の超高速物性制御と原子スケールイメージングへの
応用」
- 15:20～15:50 招待講演 5 : 富士田 誠之 (大阪大学)
「テラヘルツフォトリック結晶と量子効果デバイス共鳴トンネルダイオードの
融合」

第二部：

ポスターの部 瀧川記念学術交流会館 1F ロビー

16:00～17:45 ポスター発表

- P-01 半導体表面におけるグラフェン・アシストエッチングの素過程の解明
李 韶賢, 平野 智暉, 川合 健太郎, 山村 和也, 有馬 健太
大阪大学大学院 工学研究科
- P-02 高効率太陽電池の低コスト作製に向けた非クリーンルーム環境におけるウェハ接合
井上 諒一, 竹原 風人, 内藤 壮勘, 田辺 克明
京都大学

P-03 水素貯蔵金属を用いた異常反応の観測とそのメカニズムの検討

小野 竣佐, 北川 雄太, 田辺 克明
京都大学大学院 工学研究科 化学工学専攻

P-04 センサ応用に向けた Adhesion Lithography によるナノギャップ電極の作製

河津 知樹, 加納 伸也, 藤井 稔
神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻

P-05 シリコンナノ結晶塗布薄膜を用いた抵抗変化型メモリ

河内 剛史, 加納 伸也, 藤井 稔
神戸大院工

P-06 フォトクロミック・ジアリールエテン表面上における Mg 蒸気原子の挙動と核形成

竹本 育未, 辻岡 強
大阪教育大学大学院

P-07 金属ナノキャップと誘電体ナノ粒子からなる指向性ナノアンテナの開発

雛本 樹生, 濱田 幹彦, 藤井 稔
神戸大学大学院 工学研究科

P-08 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ 系太陽電池への PbI_2 添加および TiO_2 ナノ粒子導入効果

上岡 直樹¹, 奥 健夫¹, 鈴木 厚志¹, 阪本 浩規², 山田 昌宏², 南 聡史³, 大北 正信³
¹滋賀県立大学, ²大阪ガス株式会社, ³大阪ガスケミカル株式会社

P-09 $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ 単結晶の原子スケール表面形態がアミノ酸吸着に与える影響

伊美 拓哉¹, 齋藤 絢香^{1*}, 西川 博昭²
¹近畿大学大学院 生物理工学研究科, ²近畿大学 生物理工学部,
*現 帝京大学医学部附属病院

P-10 フェムト秒レーザー誘起マイクロバブルによる標的細胞への分子導入

小柳 朱里¹, 山田 壮平¹, 岡野 和宣¹, 安國 良平¹, 細川 陽一郎¹
¹奈良先端科学技術大学院大学

P-11 PMMA を導入したペロブスカイト系太陽電池の作製と評価

田口 雅也, 鈴木 厚志, 奥 健夫
滋賀県立大学大学院 工学研究科

- P-12 海馬神経細胞のラマン分光イメージング
望月 葵¹, 増井 恭子^{2,3}, 名和 靖矩^{1,3}, 石飛 秀和^{1,2,3}, 細川 千絵^{3,4},
Vincent R. Daria⁵, 藤田 克昌^{1,3}, 井上 康志^{1,2}
¹阪大院 工, ²阪大院 生命, ³産総研・阪大 先端フォトバイオ,
⁴産総研 バイオメディカル,⁵オーストラリア国立大学
- P-13 ECR-MBE 法によるグラフェン上の GaN 成長における窒素プラズマの効果
大江 佑京, 荒川 真吾, 毛利 真一郎, 荒木 努, 名西 愷之
立命館大学
- P-14 GaAs/AlAs 多重量子井戸における重い正孔励起子励起下での差周波混合による
テラヘルツ電磁波の偏光特性
桜井 遼¹, 小島 磨¹, 喜多 隆¹, Richard Hogg²
¹神戸大学大学院 工学研究科, ²University of Glasgow
- P-15 分光エリプソメトリーによるナノマテリアルの評価
森山 匠, ナタリア ナバトバ - ガバイン
株式会社 堀場テクノサービス
- P-16 シリコンナノ結晶塗布薄膜を利用した呼吸センサ
土橋 侑弥, 加納 伸也, 藤井 稔
神戸大院工
- P-17 入射光スペクトル形状を考慮した 2 段階フォトンアップコンバージョン太陽電池の
理論変換効率
松尾 哲弘, 原田 幸弘, 朝日 重雄, 喜多 隆
神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻
- P-18 GaAs バルク結晶における歪み界面の導入によるテラヘルツ電磁波波形の制御
山本 晋太郎, 小島 磨, 喜多 隆
神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻
- P-19 n/p 積層型メタルベーストランジスタにおける n 型有機半導体材料の探索
森下 諒子, 末延 知義, 中山 健一
大阪大学大学院 工学研究科 生命先端工学専攻
- P-20 熱活性化遅延蛍光分子の光励起状態と電荷分離の関係
有泉 恒亮, 末延 知義, 中山 健一
大阪大学大学院 工学研究科 生命先端工学専攻

P-21 カーボン系薄膜を利用した赤外領域の光学干渉膜設計

近藤 裕佑¹, 笥 芳治¹, 佐藤 和郎¹, 沈 用球²

¹大阪産業技術研究所, ²大阪府立大学

P-22 フェムト秒レーザー誘起衝撃力に対する細胞内 pH の変化

植栗 陽一, 押川 悠城, 山田 壮平, 岡野 和宣, 安國 良平, 細川 陽一郎

奈良先端科学技術大学院大学

P-23 原子層薄膜ヘテロ構造による光起電力ガス応答

田畑 博史, 麻下 卓嗣, 鶴籠 直也, 久保 理, 片山 光浩

大阪大学

P-24 サブ μm の分解能をもつ工業用途可視光 OCT を用いた半導体光導波路の非破壊計測

石田 一将¹, 尾崎 信彦¹, 池田 直樹², 杉本 喜正²

¹和歌山大学シス工, ²物材機構

P-25 誘電体光 Mie 共振器による超高解像度画素生成

長崎 裕介¹, 鈴木 優史¹, 堀田 郁人¹, 高原 淳一^{1,2}

¹大阪大学工学研究科, ²大阪大学工学研究科付属フォトニクスセンター

P-26 超ワイドバンドギャップ HEMT 応用に向けた $\epsilon\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 薄膜の結晶成長と電気的特性評価

田原 大祐, 西中 浩之, 野田 実, 吉本 昌広

京都工芸繊維大学

授賞式・懇親会 瀧川記念学術交流会館 1F 食堂

18:00~20:00

招待講演要旨

Invited Talk Abstract

自己組織化 InAs/GaAs 量子ドットを用いた近赤外広帯域光源 デバイス開発と光コヒーレンストモグラフィーへの応用

Development of a near-infrared broadband light source based on self-assembled InAs/GaAs quantum dots and its application for optical coherence tomography

和歌山大学システム工学部 尾崎 信彦
Faculty of Systems Eng., Wakayama Univ. Nobuhiko Ozaki

E-mail: ozaki@sys.wakayama-u.ac.jp

光コヒーレンストモグラフィー(OCT)は、光を用いてサンプル内部の断面構造を非侵襲にイメージングする技術である[1]。低コヒーレンス（広帯域）光干渉により、光軸上のサンプル内部の反射強度分布を計測し、光軸を面内走査することで2次元もしくは3次元の画像を得る。そのため、画像品質は用いる光源特性に依存し、例えば、分解能（光軸方向）は光源の帯域に反比例し、また画像深さは、基本的にサンプル内への光の浸透長によって決まる。医療用 OCT では、対象となる生体サンプルに含まれる、ヘモグロビンや水による光吸収が少ない近赤外波長の光が用いられるため、近赤外波長帯でのより広帯域な光源が必要となる。

この要求を満たす光源として、我々は分子線エピタキシー法により GaAs 基板上に成長した自己組織化 InAs 量子ドット(QD)を発光材料とした光源開発を行っている[2-4]。InAs-QD は、エピタキシャル成長時の基板との格子不整合による歪によって自己組織的に形成されるため、一定のサイズ分布を持ち、集合体として不均一な広がりをもった発光を示す。また発光中心波長が約1-1.3 μm の近赤外波長帯にあるため、医療用 OCT 光源として求められる特性を得やすい。我々はさらに、InAs-QDs 成長時の発光中心波長制御技術[2,3]や、分割型電極構造[4]などのデバイスプロセス技術を用いて、帯域 140nm 以上の広帯域光源(QD-SLD)の開発に成功した(Fig.1(a))。この光源を OCT に用いた場合、Fig.1(b)に示す点広がり関数(PSF)から、空気中での光軸分解能は 3.6 μm と見積もられ、一般的な市販 OCT の分解能（約 10 μm ）に比べ約 3 倍程度の向上が期待される。実際に、この QD-SLD 光源を用いた OCT 画像取得を植物サンプルに対して行い、見積もられた値とほぼ同じ光軸分解能(~4 μm)を有する画像取得にも成功している(Fig.2)[5]。これらの結果から、自己組織化 InAs/GaAs-QD が有する近赤外広帯域発光特性を活かした、新規な高分解能 OCT 光源としての利用が期待される。

本講演では、上記の研究成果とともに、最近取り組んでいる InAs-QD ベースの波長掃引型光源の開発も併せて紹介する予定である。

【謝辞】本研究は、科研費(25286052, 16H03858, 16KK0130)、テルモ生命科学芸術財団、キャノン財団、文科省ナノテクプラットフォーム事業(NIMS 微細加工 PF)の支援を受けて実施されました。

[1] D. Huang, *et al.*, Science **254**, 1178 (1991). [2] N. Ozaki *et al.*, Nanomat. Nanotechnol. **4**, 26 (2014). [3] N. Ozaki *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **53**, 04EG10 (2014). [4] N. Ozaki, *et al.*, J. Appl. Phys. **119**, 083107 (2016). [5] S. Yamauchi *et al.*, ICO-24, P6-02 (2017).

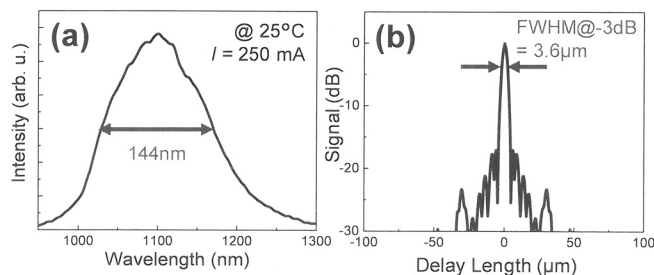


Fig.1 Typical EL spectrum (a) and PSF (b) obtained from developed QD-SLD.

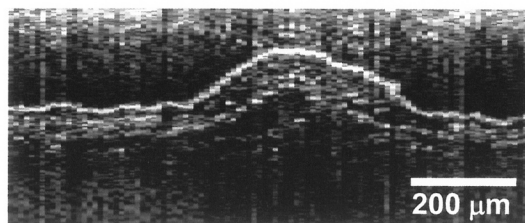


Fig.2 OCT image of a cabbage leaf acquired by the developed QD-SLD.

ナノ構造体を活用した太陽電池およびレーザデバイス

Nanostructure-Enhanced Photovoltaic and Laser Devices

京大工 ○田辺 克明

Kyoto Univ. ○Katsuaki Tanabe

E-mail: tanabe@cheme.kyoto-u.ac.jp

従来の太陽電池においては、半導体のバンドギャップより小さいエネルギーの光を発電に利用することはできなかったが、不純物や量子井戸、量子ドットといった構造を挿入することにより、中間準位を導入し、それを介した遷移をもたらすことで、より長波長の太陽光成分も活用し、高効率化を図るという試みがなされている。我々は、GaAs 太陽電池中に InAs 量子ドットが埋め込まれた構造のセルを作製し、量子ドットの効果による長波長域での光電流増大を観測し、さらに、量子ドット太陽電池として最高効率（発表当時）となる 19.4%を達成した[1]。なお、一般に量子ドットの成長には、結晶欠陥密度を低くできるとされる分子線エピタキシーが用いられるが、我々は量産に適した化学的気相成長法を用いているという点も、実用化の観点から重要である。また、量子ドット界面でのキャリア再結合の補償のためと思われるが、通常の太陽電池よりも高い集光による電圧値の増大率を観測し、量子ドット太陽電池が集光モジュールにおいて特に有望であることを示した。さらに、ナノワイヤー中に量子ドットを導入した構造についても太陽電池を試作し、発電動作と光電流の増大を確認している[2]。加えて、実用化に向けたアプローチの一つとして、プラスチックフィルム上への転写による軽量かつフレキシブルな薄膜型量子ドット太陽電池の作製にも成功している[3]。

太陽電池の半導体発電層の厚みは、光の吸収、キャリアの輸送という二つの要素を踏まえて最適化される。つまり、発電層が薄いと、入射光を十分に吸収することができず、一方で、厚いと、光により生成したキャリアの再結合によるロスが大きくなってしまうというトレードオフの関係がある。さて、光の波長よりも小さい金属体は、プラズモンと呼ばれる自由電子の集団的振動により、光と強く相互作用し、強い光の散乱や局在化をもたらす。金属ナノ粒子や金属薄膜構造を導入することで、有効光路長の延伸および光閉じ込め効果により、光吸収に必要な半導体材料を従来より大幅に薄くすることができる。これによって、光により生成したキャリアの輸送に要する距離が小さくなるため、再結合によるロスを低減でき、効率の向上が見込まれる。さらには、材料のコストの低減や軽量化も期待される。我々は、初めてとなる化合物半導体のプラズモンック太陽電池を試作するとともに、発電層の薄いセルについて、金属ナノ粒子の導入による長波長域における光電流の増大のみならず、トータルの電流値、また、発電効率の向上を実証した[4-6]。これは、太陽電池表面に設置された金属ナノ粒子がアンテナのように入射太陽光を強く引き寄せ、半導体発電層内に散乱することで光吸収量が増大したことによるものである。また、薄い半導体発電層の下に金属薄膜を有する構造の試作も行い、電流値の大幅な向上を観測した[4]。

また、量子ドットの特性を活用した半導体レーザ[7]や環境情報熱エンジン[8]といったデバイスに関する取り組みについても紹介する。

[1] K. Tanabe, D. Guimard, D. Bordel, and Y. Arakawa, *Appl. Phys. Lett.* **100**, 193905 (2012).

[2] 舘林潤, 田辺克明, 岩本敏, 荒川泰彦, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 29a-G4-3 (2013).

[3] K. Tanabe, K. Watanabe, and Y. Arakawa, *Appl. Phys. Lett.* **100**, 192102 (2012).

[4] K. Tanabe, K. Nakayama, and H. A. Atwater, *Proc. 33rd IEEE PVSC*, 129 (2008).

[5] K. Nakayama, K. Tanabe, and H. A. Atwater, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 121904 (2008).

[6] K. Tanabe, *Nanoscale Res. Lett.* **11**, 236 (2016).

[7] K. Tanabe, K. Watanabe, and Y. Arakawa, *Sci. Rep.* **2**, 349 (2012).

[8] K. Tanabe, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 064003 (2016).

ナノ粒子塗布膜を活用した高速応答湿度センサとその応用 Fast-response humidity sensor using solution-processed nanoparticle film

神戸大学大学院工学研究科 ○加納 伸也

Kobe Univ. °Shinya Kano

E-mail: kano@eedept.kobe-u.ac.jp

湿度センシングは医療・農業・化学産業など様々な分野で重要な技術である(図 1)。湿度の高感度センシングに向け、ナノ構造薄膜を用いた湿度検知が近年報告されている¹⁻³。今回は、コロイド状ナノ粒子塗布膜を活用した湿度センサを取り上げる。コロイド状ナノ粒子を室温大気下で塗布し薄膜が形成できるため、プラスチック基板上にフレキシブルな湿度センサが形成できる。さらに、薄膜を薄くすることで、湿度変化に対する薄膜の電気抵抗変化が早くなる。コロイド状シリコン量子ドットを塗付した薄膜の場合、10%程の湿度変化に対して薄膜の電気抵抗変化は 40 ms で起こる⁴(図 2)。本発表では、このナノ粒子塗布膜ベースの湿度センサを利用した、呼吸モニタリングについても述べる⁵。

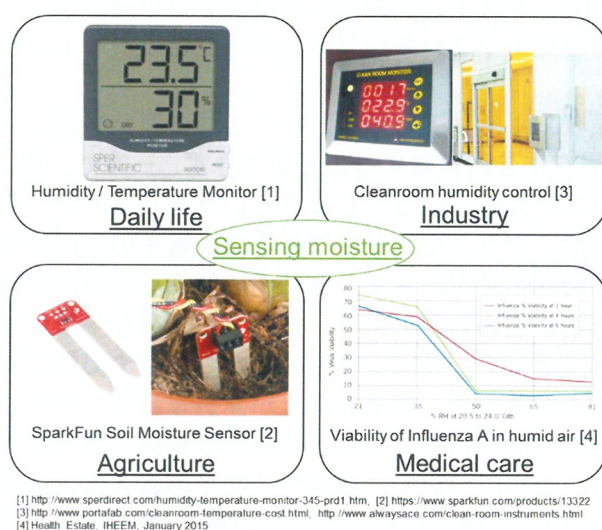


図1 湿度センシングが重要な領域

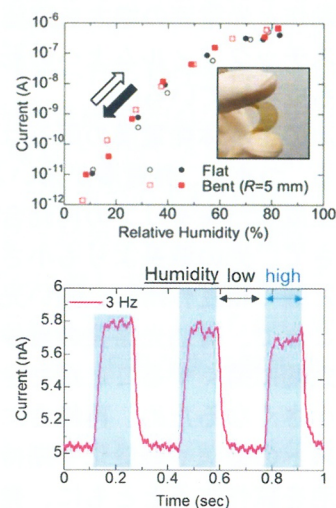


図2 シリコン量子ドット湿度センサ
(上)湿度-電流依存性, (下)応答時間評価

- ¹ S. Borini, R. White, D. Wei, M. Astley, S. Haque, E. Spigone, N. Harris, J. Kivioja, and T. Ryhänen, ACS Nano **7**, 11166 (2013).
- ² U. Mogera, A.A. Sagade, S.J. George, and G.U. Kulkarni, Sci. Rep. **4**, 4103 (2014).
- ³ Z. Zhen, Z. Li, X. Zhao, Y. Zhong, L. Zhang, Q. Chen, T. Yang, and H. Zhu, Small **1703848**, 1 (2018).
- ⁴ S. Kano, K. Kim, and M. Fujii, ACS Sensors **2**, 828 (2017).
- ⁵ S. Kano, Y. Dobashi, and M. Fujii, IEEE Sensors Lett. **2**, 24 (2018).

高強度 THz パルスによる物性制御と THz-STM 技術への応用

Controlling material properties by intense THz pulse and application to THz-STM

京大化研 °廣理 英基

Kyoto Univ. °Hideki Hirori

E-mail: hirori@scl.kyoto-u.ac.jp

急速な情報通信技術の高速化と大容量化の要請から、半導体電子デバイスにおけるメモリー素子の最小加工寸法は 10nm 程度にまで進み、電荷蓄積やトランジスタにおける電流制御が従来の半導体材料では十分に行えない「微細化の限界」が問題となっている。従来の物理的な限界を突破して、新たな固体メモリーや超高速エレクトロニクスを開発するには、材料のナノスケール物性を局所的、高速、効率的かつ劇的に変化させ、その物理現象を理解することが極めて重要である。本研究では、ピコ秒 (10^{-12} 秒) の持続時間しか持たない世界最高強度のテラヘルツ (THz) 光源を最適化し (図 1)、従来の DC 電場や超短パルスレーザー技術では不可能な新たな物性制御技術を開発する[1]。これにより、THz 周波数帯で動作する次世代の超高速電子デバイス開発に資する電場・磁場誘起現象を探索し学理を構築する。

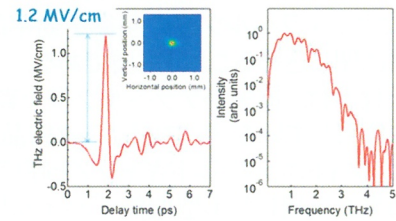


図 1: 1MV/cm 強のピーク電場を持つ THz パルスの時間波形(左)とスペクトル(右)。

1. 反強磁性体の磁化制御

絶縁性反強磁性体は THz 帯域に達する高周波磁気応答を示し、高速磁気光学素子やスピndeバイスへの利用が期待される。磁気スイッチングなどへの応用を考える際には非線形領域におけるスピダイナミクスを理解が重要であるが、従来十分な強度の THz 磁場発生が困難なために物理的機構は未解明であった。本研究では高強度の THz 電場パルスをスプリットリング共振器に照射し、傾角反強磁性体 HoFeO_3 単結晶内部に共鳴的な磁場増強をもたらし、非線形な磁化応答、さらに超高速な磁化制御を目指し研究を行った。実験では THz パルス照射後の磁化変化を時間分解磁気カー効果により測定した。高強度励起では大きな周波数シフトが出現することが観測され、大振幅駆動された磁化運動の非調和性に由来することを解明した[2]。

2. THz ドレスト状態の生成と光信号変調

半導体中の励起子は大きな振動子強度をもち THz 光と強く相互作用するため大きな光学変調が期待される。GaAs 中励起子の最低励起状態である 1s 状態と 2p 状態のエネルギー差よりも少し小さいフォトンエネルギーを持つ THz 光を試料に入力すると、励起子準位と THz 光が結合して新たにドレスト状態が生成される。実験では THz 電場に応じて変化する試料の周期的な吸収変化を測定し、ドレスト状態からのサイドバンド放射に起因することを確認した。本研究は光電場の位相をドレスト状態の波動関数の位相に直接転写可能なことを示したはじめての実験例であり、多波長光強度変調素子や任意の時間形状を持つ光パルスを生成する光シンセサイザー技術への応用が期待される[3]。

3. 時間分解 THz-STM 技術の開発

本研究では、ナノスケールの物性制御技術の実現や、光励起キャリアが超短時間にもたらす電子状態の変化ダイナミクスをナノスケールの空間分解能で可視化するために高強度 THz パルスをトンネル電圧バイアスとする、『時間分解 THz-STM』技術の開発を行った。グラファイトとタンゲステン探針間に THz パルスを照射しながらトンネル電流を測定し、国内ではじめて THz 誘起電流のみで STM を制御してピコ秒電流によるグラファイトの二次元原子像を取得した。

参考文献：

- 1) H. Hirori *et al.*, Appl. Phys. Lett. 98, 091106 (2011).
- 2) Y. Mukai, H. Hirori *et al.*, New Journal of Physics 18, 013045 (2016).
- 3) K. Uchida, H. Hirori *et al.*, Phys. Rev. Lett. 117, 277402 (2016).

テラヘルツフォトニック結晶と 量子効果デバイス共鳴トンネルダイオードの融合

Fusion of Terahertz Photonic Crystals and Quantum Effect Resonant Tunneling Diodes

大阪大学基礎工学研究科, 富士田 誠之

Osaka University, Masayuki Fujita

E-mail: fujita@ee.es.osaka-u.ac.jp

光と電波の境界領域に位置するおよそ 0.1 THz から 10 THz の周波数を有する電磁波は、テラヘルツ波と呼ばれ、21 世紀に応用が残された未開拓の電磁波として、近年注目されている¹⁾。しかしながら、テラヘルツ帯は、エレクトロニクスによる電子の制御の高周波極限、フォトニクスによる光子の制御の低エネルギー極限に相当するため、テラヘルツ波の発生・検出および制御技術は、発展途上という状況である。ここで、テラヘルツ波の制御を効率的に行うためには、テラヘルツ波をできるだけ低い損失で微小な構造体に閉じ込めることが重要である。

我々は、損失がテラヘルツ帯で顕著な金属ではなく、誘電体の微細構造で形成されるフォトニック結晶に着目している²⁾。フォトニック結晶は、固体結晶と類似の周期的な誘電率分布を有し、その設計次第では、フォトニックバンドギャップと呼ばれる電磁場が存在できない状態を創り出すことができ、その閉じ込め効果を活用した小型機能デバイスの実現が可能である。約 20 k Ω cm という高い抵抗率を有するシリコンを用い自由キャリア吸収の影響を抑制することで、テラヘルツフォトニック結晶の低損失性を活かした伝搬損失 0.1 dB/cm 以下という金属線路よりも 2-3 桁小さい極低損失導波路³⁾と、金属メタマテリアルを用いたテラヘルツ共振構造の Q 値よりも 2 桁以上高い 10000 を超える Q 値を有する微小共振器⁴⁾、波長サイズの小型合分波器⁵⁾や高効率アンテナ⁶⁾を実現してきた。

最近、テラヘルツ帯において、コンパクトな電子デバイスが実現されてきており、フォトニック結晶と集積化した高性能デバイスの実現も期待できる。我々は特に、単体の電子デバイスとして最も高い周波数の約 2 THz までの発振⁷⁾が実現されている AlAs-GaInAs 量子障壁-量子井戸ナノ構造を有する量子効果デバイス共鳴トンネルダイオード(Resonant Tunneling Diode: RTD)に注目している^{4, 8)}。しかしながら、RTD をテラヘルツ帯で動作させるためにキャパシタンスを低減する必要があるため、その面積は数 μ m 角以下とフォトニック結晶導波路を伝搬するテラヘルツ波のスケール(数百 μ m)と比べて桁違いに小さく、それらの高効率結合は、挑戦的な課題といえる。我々は、極最近、RTD とフォトニック結晶導波路のインターフェースとして、電磁界分布を断熱的に変化させる一種のアンテナ構造を導入することで 50%以上の結合効率が可能な構造を実現した⁹⁾。さらに、RTD と高い Q 値を有するフォトニック結晶共振器とを結合させることで RTD の発振状態が制御可能であることを見いだしている¹⁰⁾。今後、RTD 発振器の安定性および出力を向上させることで、通信の高速化やセンシングの高感度化を可能とするコヒーレントテラヘルツシステムへの展開が期待される。

本講演に関わる内容は、大阪大学の永妻忠夫教授、大学院生諸氏、The University of Adelaide の Withawat Withayachumnankul 講師および、ローム株式会社との共同研究の成果であり、関係各位に深く感謝する。本研究の一部は、JST CREST および科研費からの支援を受けた。ここに深く感謝する。

参考文献

- 1) T. Nagatsuma, S. Hisatake, M. Fujita, H. H. N. Pham, K. Tsuruda, S. Kuwano, and J. Terada, IEEE J. Quantum Electron., **52**, 0600912 (2016).
- 2) 富士田誠之, 応用物理, **85**, 490 (2016).
- 3) K. Tsuruda, M. Fujita, and T. Nagatsuma, Opt. Express, **23**, 31977 (2015).
- 4) K. Okamoto, K. Tsudura, S. Diebold, S. Hisatake, M. Fujita, and T. Nagatsuma, J. Infrared Millim. Terahertz Waves, **38**, 1085 (2017).
- 5) M. Yata, M. Fujita, and T. Nagatsuma, Opt. Express, **24**, 7835 (2016).
- 6) W. Withayachumnankul, R. Yamada, C. Fumeaux, M. Fujita, and T. Nagatsuma, Opt. Express, **25**, 14706 (2017).
- 7) M. Asada and S. Suzuki, J. Infrared Millim. Terahertz Waves, **37**, 1185 (2016).
- 8) S. Diebold, K. Nishio, Y. Nishida, J. Kim, K. Tsuruda, T. Mukai, M. Fujita, and T. Nagatsuma, Electron. Lett. **52**, 1999 (2016).
- 9) 兪熊斌, 山田諒明, 金在瑛, 富士田誠之, 永妻忠夫, **65**, 春季応物学会, 20a-A402-2 (2018).
- 10) 兪熊斌, 山田諒明, 金在瑛, 富士田誠之, 永妻忠夫, **65**, 春季応物学会, 20a-A402-1 (2018).

～memo～

ポスター発表要旨

Poster Presentation Abstract

P-01

半導体表面におけるグラフェン・アシストエッチングの素過程の解明

李 韶賢, 平野 智暉, 川合 健太郎, 山村 和也, 有馬 健太

大阪大学大学院 工学研究科

近年、触媒を援用した半導体表面のケミカルエッチング（三次元ナノ構造の形成、研磨 他）が注目されている。通常、触媒には貴金属を用いる。しかし、我々は最近、安価な還元グラフェンシートが貴金属と似た触媒機能の発現することを初めて見出した。本発表では、溶液（酸素ガスを溶存した水）中で、還元グラフェンシートと接触した半導体（Ge）表面が選択的にエッチングされる様子を原子間力顕微鏡により、“その場” 観察した。そして、半導体表面におけるグラフェン・アシストエッチングの素過程の解明結果について報告する。

P-02

高効率太陽電池の低コスト作製に向けた非クリーンルーム環境におけるウェハ接合

井上 諒一, 竹原 風人, 内藤 壮勘, 田辺 克明

京都大学

多接合太陽電池は、エネルギー問題・地球温暖化問題等を解決するデバイスとして期待される。本研究で試みるウェハ接合法は、半導体基板同士を張り合わせて加圧・加熱というシンプルな方法であり、デバイスの低コスト作製につながると考えられる。接合前に表面洗浄や表面処理を施し、導電性の高い接合界面を形成するための条件を模索した。

P-03

水素貯蔵金属を用いた異常反応の観測とそのメカニズムの検討

小野 竣佐, 北川 雄太, 田辺 克明

京都大学大学院 工学研究科 化学工学専攻

重水素化 Pd にエネルギーを与えることにより引き起こされる異常反応を観測し、そのメカニズムについて検討した。重水素を平衡状態まで吸蔵させた Pd 試料に真空中において通電加熱を行うことで、試料の急激な温度変化とそれに合致するタイミングでの中性子線強度のピークを観測した。また、実験中に観測された試料の変形について XRD 等を用いた分析を行い、その原因について考察した。

P-04

センサ応用に向けた Adhesion Lithography によるナノギャップ電極の作製
河津 知樹, 加納 伸也, 藤井 稔
神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻
近年、センサ応用に向けた様々なナノギャップ電極作製の研究が行われている。一般的に数十 nm 以下のギャップを作製するには高価な装置が必要であり、大面積に一括作製できないことが課題となっている。これらの課題を克服する新しい手法として、Adhesion Lithography がある。本研究では、Adhesion Lithography によりギャップ長:100 nm 程度、ギャップ幅:10 μm のナノギャップ電極を作製した。作製したナノギャップ電極の構造は、SEM 像、AFM 像から評価した。

P-05

シリコンナノ結晶塗布薄膜を用いた抵抗変化型メモリ
河内 剛史, 加納 伸也, 藤井 稔
神戸大院工
次世代型不揮発性メモリとして、抵抗変化型メモリが注目されている。今回は抵抗変化層としてシリコン (Si) ナノ結晶コロイドを塗布した薄膜に着目した。Al/Si ナノ結晶塗布薄膜/ITO 構造に電圧を印加することでバイポーラ型の抵抗変化現象が起こることを見出した。これはナノ結晶表面に存在する酸素空孔の可逆的な伝導パスの形成に起因すると考えられる。さらにはフレキシブル基板上に作製したフレキシブル抵抗変化メモリについても報告する。

P-06

フォトクロミック・ジアリールエテン表面上における Mg 蒸気原子の挙動と核形成
竹本 育未, 辻岡 強
大阪教育大学大学院
ジアリールエテン膜表面上における金属蒸着選択性は着色膜上には金属堆積し、消色膜上には堆積しない現象で、電極パターンニング技術への応用が期待されている。しかし、消色膜上でも Mg を長時間蒸着すると、特定の時間から堆積が始まることを見出した。本研究では、この堆積開始時間の性質と Mg 堆積のための核形成メカニズムを調査した。その結果、表面で Mg 原子が拡散するプロセスにおいて、化学反応による核形成サイトが生じている可能性が示された。

P-07

金属ナノキャップと誘電体ナノ粒子からなる指向性ナノアンテナの開発

雛本 樹生, 濱田 幹彦, 藤井 稔

神戸大学大学院 工学研究科

光集積デバイスを実現するための要素技術として、光のルーティングを行う指向性ナノアンテナがある。近年、高屈折率誘電体ナノ粒子の Mie 共鳴によって指向性光散乱が実現され、より高い指向性を持つ構造が模索されている。本研究では、高屈折率誘電体ナノ粒子に金属ナノキャップを複合させた、新たな指向性ナノアンテナを開発する。Mie 共鳴と表面プラズモン共鳴が結合し、より高い指向性を示す光ナノアンテナについて報告する。

P-08

CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x系太陽電池への PbI₂ 添加および TiO₂ ナノ粒子導入効果上岡 直樹¹, 奥 健夫¹, 鈴木 厚志¹, 阪本 浩規², 山田 昌宏², 南 聡史³, 大北 正信³¹滋賀県立大学, ²大阪ガス株式会社, ³大阪ガスケミカル株式会社

ペロブスカイト系太陽電池において、TiO₂ 層は電子を輸送しペロブスカイト層の下地としても非常に重要な機能を持つ。本研究では、TiO₂ ナノ粒子の成膜およびペロブスカイト層への PbI₂ 添加効果を検討した。その結果、PbI₂ 添加により曲線因子の向上およびペロブスカイト構造の立方晶から正方晶への転移を確認した。さらに、TiO₂ ナノ粒子により、外部量子効率の向上を確認し、TiO₂ ナノ粒子と PbI₂ の有用性を示した。

P-09

Al₂O₃(0001)単結晶の原子スケール表面形態がアミノ酸吸着に与える影響伊美 拓哉¹, 齋藤 絢香^{1,*}, 西川 博昭²¹近畿大学大学院 生物理工学研究科, ²近畿大学 生物理工学部, *現 帝京大学医学部附属病院

バイオマテリアルにおける生体適合性の理解や向上のため、原子スケールで表面形態を制御したバイオマテリアルとアミノ酸との水溶液中における吸着相互作用について研究を行った。バイオマテリアルとしては Al₂O₃(0001)単結晶を用い、これを大気中でアニール(1100℃、1400℃)することによりステップ高さを制御した。このようにステップ高さを制御した Al₂O₃(0001)をグリシン水溶液に浸漬し、その表面形態を原子間力顕微鏡で観察した結果、ステップ高さが 1 原子層の時には吸着が起こらず 3~4 原子層程度でのみグリシンが特異的吸着を示すことが明らかになった。

P-10

フェムト秒レーザー誘起マイクロバブルによる標的細胞への分子導入
小柳 朱里 ¹ , 山田 壮平 ¹ , 岡野 和宣 ¹ , 安國 良平 ¹ , 細川 陽一郎 ¹
¹ 奈良先端科学技術大学院大学
細胞への遺伝子や機能性分子の導入は、分子生物学において重要な技術である。我々は、水中に集光したフェムト秒レーザーが発生させる微小な爆発現象を利用した標的細胞への分子導入を目指している。本研究では、レーザーのパルスエネルギーと周波数を変えて細胞近傍にレーザーを集光し、培地に添加した蛍光分子の導入効率を調べた。この結果をもとに、フェムト秒レーザーによる細胞への外部物質の導入メカニズムについて議論する。

P-11

PMMA を導入したペロブスカイト系太陽電池の作製と評価
田口 雅也, 鈴木 厚志, 奥 健夫
滋賀県立大学大学院 工学研究科
ペロブスカイト系太陽電池は性能向上のために界面改善やペロブスカイト結晶成長の促進が必要とされる。ペロブスカイト層の上にポリメタクリル酸メチル(PMMA)を製膜することで、ペロブスカイト結晶の欠陥を抑制し、結晶成長を促進させる役割が報告されている。本研究では、PMMA をペロブスカイト層の上に導入した太陽電池を作製し、光起電力特性の評価を行うことを目的とした。J-V 特性や光学顕微鏡、AFM、X 線回折により光起電力特性、表面形態や結晶構造を検討したので報告する。

P-12

海馬神経細胞のラマン分光イメージング
望月 葵 ¹ , 増井 恭子 ^{2,3} , 名和 靖矩 ^{1,3} , 石飛 秀和 ^{1,2,3} , 細川 千絵 ^{3,4} , Vincent R. Daria ⁵ , 藤田 克昌 ^{1,3} , 井上 康志 ^{1,2}
¹ 阪大院 工, ² 阪大院 生命, ³ 産総研・阪大 先端フォトバイオ, ⁴ 産総研 バイオメディカル, ⁵ オーストラリア国立大学
生きたままの細胞内の生体分子の分布やその機能を知る方法として、低侵襲なラマン分光法がある。我々は、ラマン分光法を用い、中枢神経系における神経伝達物質の機能の解明に向けた研究を行っている。ラット胎児から取り出した発達初期の海馬神経細胞のラマンスペクトルを測定し、細胞内に多く存在する生体分子由来のピークを得た。また、各ラマンピークを元にラマン画像を構築し、神経細胞内での生体分子の分布を示すことに成功した。

P-13

ECR-MBE 法によるグラフェン上の GaN 成長における窒素プラズマの効果
大江 佑京, 荒川 真吾, 毛利 真一郎, 荒木 努, 名西 徳之
立命館大学
グラフェンなどの原子層材料を基板とするファンデルワールス・エピタキシーは、剥離・転写可能な半導体成長法として注目を集めている。現状ではデバイス応用に必要な大面積薄膜の成長が難しく、その克服が課題となっている。本研究では、大面積化実現へ向け窒素プラズマによる核生成密度制御手法の検討を行った。具体的には、プラズマのイオン化率の大きい ECR-MBE 法を用いることで、グラフェン表面を改質し、核生成サイトを均一に導入できることを見出した。

P-14

GaAs/AlAs 多重量子井戸における重い正孔励起子励起下での差周波混合によるテラヘルツ電磁波の偏光特性
桜井 遼 ¹ , 小島 磨 ¹ , 喜多 隆 ¹ , Richard Hogg ²
¹ 神戸大学大学院 工学研究科, ² University of Glasgow
半導体多重量子井戸に、励起子共鳴励起条件下で連続波レーザーを照射して得られる差周波混合によるテラヘルツ電磁波放射の偏光特性を、試料端面方向と反射方向から測定した。その結果は、差周波混合過程において、励起子と構成原子による分極が重要な役割を果たしている可能性を示唆した。したがって、電磁波強度の増強のためには励起子の寄与だけでなく、構造原子による分極の寄与も考える必要があると考えられる。

P-15

分光エリプソメトリーによるナノマテリアルの評価
森山 匠, ナタリア ナバトバ - ガバイン
株式会社 堀場テクノサービス
分光エリプソメトリーは半導体分野を中心にディスプレイ、太陽電池、化学、鉄鋼など、様々な分野で使われる薄膜の膜厚、屈折率、消衰係数などの評価に使われることが多いが、近年ではカーボンナノチューブやグラフェンなどナノマテリアルの評価も使われるようになってきている。本発表では、分光エリプソメトリーを利用したナノマテリアルの評価例について紹介する。

P-16

シリコンナノ結晶塗布薄膜を利用した呼吸センサ
土橋 侑弥, 加納 伸也, 藤井 稔
神戸大院工
我々のグループでは、極性溶媒中に均一に分散するシリコンナノ結晶コロイドを開発している。表面が自然酸化されたシリコンナノ結晶塗布薄膜は、環境の湿度に応じて薄膜の抵抗値が変化するため、抵抗変化型湿度センサとして利用できる。本発表では、湿度センサを呼吸センサとして応用するため、薄膜の抵抗値と膜厚の関係や、湿度急変時の応答時間を評価する。ポータブルな呼吸センサを開発し、安静時および歩行時の呼吸数計測結果を示す。

P-17

入射光スペクトル形状を考慮した 2 段階フォトンアップコンバージョン太陽電池の理論変換効率
松尾 哲弘, 原田 幸弘, 朝日 重雄, 喜多 隆
神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻
半導体ヘテロ界面でのフォトンアップコンバージョン過程を利用する 2 段階フォトンアップコンバージョン太陽電池(TPU-SC)では、50%を超えるエネルギー変換効率の実現が期待されている。本研究では、入射光スペクトル形状が TPU-SC の理論変換効率に与える影響を、詳細平衡理論を用いて明らかにした。吸収率 $\alpha=50\%$ 、入射光（黒体輻射）の色温度 6000 K、1000 倍集光において最適化したバンドギャップでは、入射光スペクトル形状が変化しても、 $\alpha<70\%$ という広い吸収率の範囲において TPU-SC では中間バンド型太陽電池よりも高い変換効率が維持できることが示された。

P-18

GaAs バルク結晶における歪み界面の導入によるテラヘルツ電磁波波形の制御
山本 晋太郎, 小島 磨, 喜多 隆
神戸大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻
フェムト秒光パルス励起によって誘起されるテラヘルツ電磁波の放射は、半導体表面近傍における瞬間的な過渡電流に起因し、キャリアダイナミクスの観察を可能にする。本研究では GaAs 内部において歪みによるポテンシャル変調が存在する場合のテラヘルツ電磁波波形のシミュレーションを行い、キャリアダイナミクスとの関係について議論する。そして半導体表面近傍のキャリアダイナミクスがテラヘルツ電磁波波形に与える効果を考察した。

P-19

n/p 積層型メタルベーストランジスタにおける n 型有機半導体材料の探索
森下 諒子, 末延 知義, 中山 健一
大阪大学大学院 工学研究科 生命先端工学専攻
縦型有機トランジスタであるメタルベース有機トランジスタ (MBOT) は、低電圧・大電流動作が可能であるが、大気下での加熱が必要という課題があった。近年開発された、n/p 積層型 MBOT は動作メカニズムが異なり、大気下加熱が不要である利点がある。本研究ではエミッタ層に pentacene を、コレクタ層に 3 種類のペリレン誘導体を用いた MBOT を作製し、高性能化に向けた n 型有機半導体の材料選択指針を探索した。

P-20

熱活性化遅延蛍光分子の光励起状態と電荷分離の関係
有泉 恒亮, 末延 知義, 中山 健一
大阪大学大学院 工学研究科 生命先端工学専攻
現在主流のバルクヘテロ型有機太陽電池が抱えるドナー・アクセプタ界面での電圧ロス問題を解決するために、我々は単一吸収材料による有機太陽電池の可能性を検討している。しかし、単一成分薄膜太陽電池は、光生成励起子の励起寿命が短いので、電荷分離できず失活するという問題がある。本研究では、励起寿命が長い熱活性化遅延蛍光 (TADF) 分子に着目し、単一成分薄膜太陽電池へ応用した。また、励起子の電荷分離過程を時間分解して追跡できる TDCF (Time-Delayed Collection Field) 測定を用いて、励起子ダイナミクスを調査した。

P-21

カーボン系薄膜を利用した赤外領域の光学干渉膜設計
近藤 裕佑 ¹ , 笥 芳治 ¹ , 佐藤 和郎 ¹ , 沈 用球 ²
¹ 大阪産業技術研究所, ² 大阪府立大学
a-C:H (水素化アモルファスカーボン) 膜は、近赤外波長以降の透過率が高く、硬質で膜自体の耐久性が高いことから、材料候補の少ない赤外領域の光学材料として、センサーや撮像素子を始めとする赤外産業分野への応用が期待されている。本研究では a-C:H 薄膜の光学定数調整を PECVD 法の製膜パラメータ制御により行い、異種 a-C:H 膜の交互積層体を構造最適化することで近赤外領域の光学フィルターを設計した結果について報告する。

P-22

フェムト秒レーザー誘起衝撃力に対する細胞内 pH の変化

植栗 陽一, 押川 悠城, 山田 壮平, 岡野 和宣, 安國 良平, 細川 陽一郎

奈良先端科学技術大学院大学

細胞は生体内において様々な機械刺激に曝されており, 細胞はこれらの機械刺激を検出し発達や分化などの細胞機能の調節といった生理応答に変換している。我々は、時空間制御性に優れる集光フェムト秒レーザーにより誘起した衝撃力を機械刺激として適用することで、機械刺激に対する細胞の生理応答を研究する新手法を提案している。本発表では、フェムト秒レーザー誘起衝撃力によって刺激された細胞の生理応答として細胞の pH 変化を報告する。

P-23

原子層薄膜ヘテロ構造による光起電力ガス応答

田畑 博史, 麻下 卓嗣, 鶴籠 直也, 久保 理, 片山 光浩

大阪大学

原子層薄膜／バルク半導体の van der Waals ヘテロ接合は、原子層薄膜が原子オーダーの膜厚を持つことに起因して、表面敏感な界面を形成する。このようなヘテロ接合で生じる光起電力は、ガス分子の吸着の影響を受けて変化する。本研究では、この特性を利用した光起電力型ガスセンサについて報告する。

P-24

サブ μm の分解能をもつ工業用途可視光 OCT を用いた半導体光導波路の非破壊計測

石田 一将¹, 尾崎 信彦¹, 池田 直樹², 杉本 喜正²

¹和歌山大学シス工, ²物材機構

光干渉断層計 (OCT) は低コヒーレンス光干渉により対象試料の断面イメージングを非破壊に得る技術であるが、我々は OCT に可視光の広帯域光源を導入し、光軸および面内にサブ μm の高分解能をもつ可視光(vis-)OCT を工業用途向けに開発した。これにより、 μm オーダーの微細構造を有する半導体光導波路の非破壊・非接触形状計測に成功し、vis-OCT の工業用途への有用性を実証したので報告する。

P-25

誘電体光 Mie 共振器による超高解像度画素生成
長崎 裕介 ¹ , 鈴木 優史 ¹ , 堀田 郁人 ¹ , 高原 淳一 ^{1,2}
¹ 大阪大学工学研究科, ² 大阪大学工学研究科附属フォトニクスセンター
今回我々は、高屈折率誘電体に励起される Mie 共振現象を利用した超高解像度フルカラー画素形成の実証を行った。クォーツ基板上に形状の異なる Si ナノ構造を作製することで、RGB を含む様々な画素生成に成功した。Si ナノ構造の大きさは可視光域における回折限界と同等であるため、その解像度は原理限界に迫る。本研究はセキュリティや偽造防止などへの応用が期待される。

P-26

超ワイドバンドギャップ HEMT 応用に向けた ϵ -Ga ₂ O ₃ 薄膜の結晶成長と電気的特性評価
田原 大祐, 西中 浩之, 野田 実, 吉本 昌広
京都工芸繊維大学
超ワイドバンドギャップ半導体として注目されている酸化ガリウム(Ga ₂ O ₃)は、結晶多彩であり、5 つの相が知られている。我々は、唯一の極性結晶である準安定相 ϵ -Ga ₂ O ₃ に注目している。本研究では、この ϵ -Ga ₂ O ₃ の自発分極特性を利用した超ワイドバンドギャップ HEMT デバイスへの応用に向けて、ミスト CVD 法による結晶成長を行っている。本発表では、 ϵ -Ga ₂ O ₃ の結晶成長とその物性評価について報告する。

賛助会員

応用物理学会関西支部の本事業活動に関し、下記賛助会員各位よりご支援を頂いております。ここに社名を記載させて頂き、感謝の意を表します。

エア・ウォーター(株)
(株) 大阪真空機器製作所
京セラ(株)
(株) 神戸製鋼所 技術開発本部
(株) 島津製作所
シャープ(株) 研究開発事業本部
新日鐵住金(株) 技術開発本部 尼崎研究開発センター
住友電気工業(株)
東京エレクトロン(株)
東京応化工業(株)
パナソニック(株) 全社 CTO 室 技術渉外部
三菱電機(株) 先端技術総合研究所
(株)村田製作所
ローム (株)

(2018 年 4 月 1 日現在、50 音順)