



文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究(平成25-30年度)
領域名: 原子層科学 Science of Atomic layers (SATL)

SATL news letter

◆◆◆◆ 中間評価を終えて ◆◆◆◆

このたび中間評価として A をいただき計画通り原子層科学の研究が推進されていることを評価いただきました。特に共同研究が 150 件以上あること、また各種講習会が行われたことなどを高くご評価いただきました。残り2年も、引き続き共同研究を進め、さらに国際共同研究基金を利用した国際共同研究、アウトリーチ活動も積極的に進めてまいります。また、ますます広がりを見せる、新しい原子層物質に関しても、一定の戦略をたて、原子層科学が進めるオリジナリティの高い研究に絞ってプロジェクトを進めていきたいと考えています。引き続き、講習会などを積極的行いますので、皆様ご参加よろしくお願いいたします。

領域代表: 齋藤理一郎

◆◆◆◆ 研究紹介 ◆◆◆◆

原子層物質への分子吸着による電荷移動現象の解明

合成班 高井 和之(法政大環境応用化学)

原子層物質は本質的に構成原子が全て表面に属するという特徴をもつことから、近接する外界物質との相互作用による大きな環境効果が期待できる点で化学・物質開発の観点からも興味深い。実際、実験的には原子層物質は基板上に担持された状態で存在するため、近接する基板との相互作用が電子物性に大きな影響を与えており、基板との相互作用にもとづいた物質・デバイス設計への応用が期待されている[1, 2]。一方、原子層表面への分子吸着は原子層複合系の合成・物性発現において重要な原子層間相互作用の素過程を評価するうえで有用であり、その中でも分子

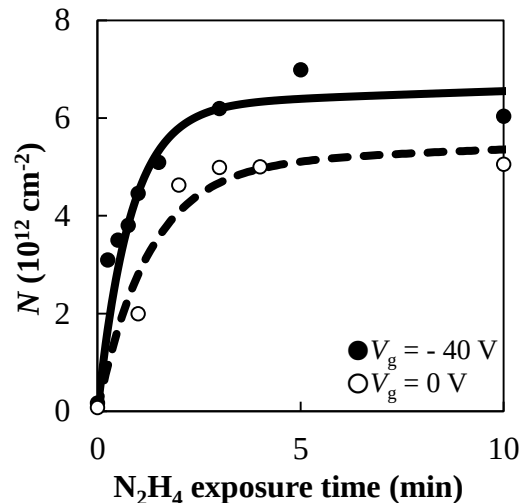


図1 グラフェンへの電子注入量のヒドラジン吸着時間依存性

吸着による電荷移動現象は原子層へのキャリア注入に直結しており重要である。特に大気環境中に存在する酸素分子のグラフェンへの吸着はゲート電圧による E_F の変調に強く依存したホールドープ速度を示し、この現象の解明の鍵となっている[3]。

我々は分子吸着による原子層物質への電荷移動現象の解明を目指して、酸素とは逆にドナー性が高く電子ドープが期待されるヒドラジンの吸着および酸素と同じく大気環境下における原子層への吸着分子として重要な水分子の共存効果を調べた。図1に示すようにラマンGバンド位置から求めたキャリア濃度はヒドラジン吸着に伴い増加し、電荷移動の特性時間は酸素(18 min[3])に比べて急速で 1.25 min であった。特に興味深いことに、酸素吸着の場合と逆に、ヒドラジン吸着による電荷移動速度はグラフェンの E_F を下げることによって増大する。一般にヒドラジンは一水和物の形で多量に水分子を含んだ形で安定である。酸素分子についても 20 kPa の水蒸気と共存した状態で、電気伝導度のゲート電圧依存により

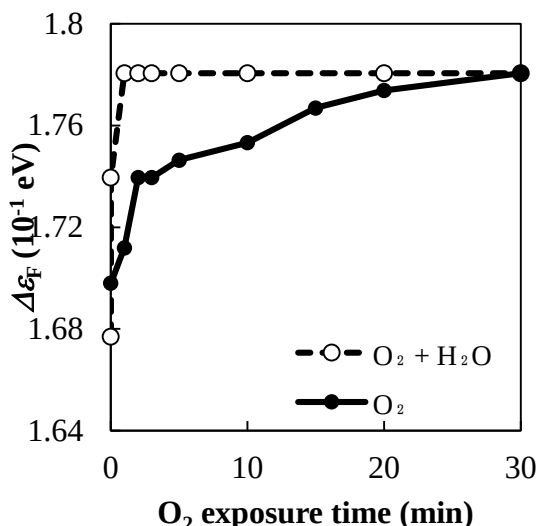


図 2 酸素吸着によるグラフェンの E_F シフトの時間依存性。SiO₂ にトラップされた水分子の影響を防ぐための基板のパリレンコーティングの効果で酸素吸着前においてもホールドーピングされた状態であることに注意

酸素吸着に伴う E_F のシフト量を求めると、電荷移動速度は大幅に増大する(図 2)。これらは分子吸着による原子層への電荷移動が電気化学的機構で進行することにより説明され、観測されている電荷移動の時間スケールが非常に遅いこととも一致する。一方、半導体である MoS₂ においても酸素吸着によるホールドーピングに伴うしきい電圧のシフトが観測されるが(図 3)、グラフェンと比較して電荷移動速度が非常に急速であるだけでなく、真空下でのアニールでもドーピングが解消しない不可逆な

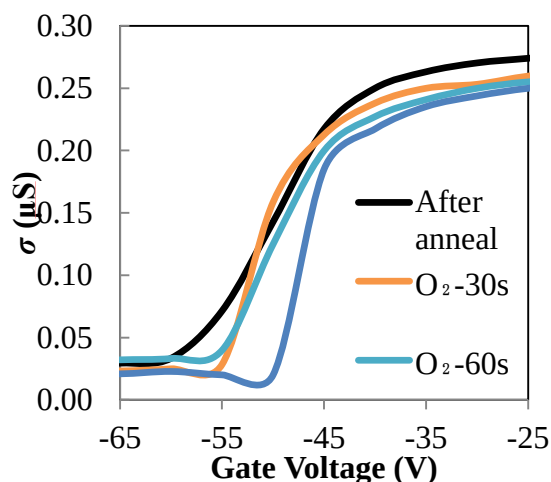
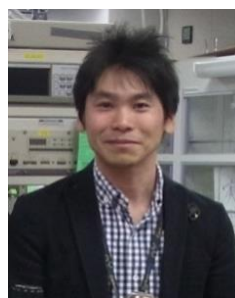


図 3 酸素吸着による MoS₂ へのホールドーピングの酸素吸着時間依存性。負バイアス側は電流値が小さいためオフセットが乗っている

成分や電極界面への影響も大きく、多くの要因に依存するのが特徴である。現在は半導体だけでなく、金属であるカルコゲナイド化合物も合成してへき開試料の評価を行っており、原子層物質における分子吸着効果の統一的理解を目指して行きたい。

- [1] K. Yokota, K. Takai, Y. Kudo, Y. Sato, T. Enoki, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **16**, 4313 (2014)
- [2] J. Ge, Z. Liu, C. Liu, C. Gao, D. Qian, Q. Xue, Y. Liu, J. Jia, *Nature Mater.* **14**, 285 (2015)
- [3] Y. Sato, K. Takai, and T. Enoki, *Nano Lett.* **11**, 3468 (2011)



合成班 高井和之
法政大学生命科学部環境応用化学科准教授。専門は物性物理化学。原子層を舞台に化学と物理の間にまたがる領域を探求していきたい。

◆◆ひとこと◆◆

この新学術に参加していて感じるのは、History repeats itself ということです。これはどんな研究分野についても多かれ少なかれそうでしょうが、単に歴史が繰り返されるのではなく、思いがけないような新しい局面を見せながら繰り返すところが醍醐味とおもいます。私自身のグラファイト関連の経験からいうと、1973 年に大学院に入った頃は、隣接の植村研究室でグラファイトのバンド構造の研究が行われており、結構複雑なフェルミ面(半金属ゆえ奇妙な電子面とホール面がある)が印象的だったわけです。その後、グラファイト自身はグラファイト層間化合物としてブームになり、一方、小間先生が van der Waals epitaxy を創始され、これも今考えても慧眼だったとおもいます。これは、斉木さんの有機・無機複合構造などに発展したわけです。そもそも層状物質というのは、色々な点で物理的に面白く、量子ホール効果が2次元系で存在するのも決して偶然ではなく、偶数空間次元の異常性からくる訳ですし、高温超伝導体が層状なのは、超伝導相と電荷供給層がうまく合体できるせ

いだけではなく、異方的ペアリングとの相性がよいためであったわけです。また、グラフェンを巻くとか、3次元曲面にすることができるという操作の自由度も色々なファシネーションを可能にする面です。グラフェンで分数量子ホール効果、磁性が出て、あとは超伝導のみとおもっていたら、最近超伝導が複数グループで報告され、何でもありという世界ようです。最近ではグラフェンの親戚として、silicene, phosphorene, さらに borophene, plumbene なんていう提案まで出て来て、周期律表での領域を広げています。さらに MX_2 も含めた多彩なファミリーを対象とした本新学術も、さまざまな expertise をもつメンバーの相乗効果でこれからさらに面白い展開になってゆくとおもいます。グラフェンをキックオフさせた Andre Geim は、色々破天荒なアイデアをもった研究者ですが、日本でも(困難な世相ですが、逆に)大胆なことを試みるようなことが特に若い世代に育つことを期待したいとおもいます。



理論班 青木秀夫
東京大学 大学院理学系
研究科 専門は物性物理
学理論。物質設計を目指
している。

◆◆ひとこと◆◆

この新学術領域も折り返しの時期となり、公募によって参画させていただいている私にとっては節目の 3 月を迎えようとしております。良い機会ですので、この場を借りて2年間の公募研究を振り返ってみたいと思います。若手の雑感ではございますが、少々お付き合いいただければ幸いです。

私は 2013 年 5 月現職に着任し、その年の秋、学位取得後初めての科研費申請を行いました。その結果、SATL は(学振を除き)初めて獲得した科研費となりました。初出し申請での採択は、駆け出し研究者にとって非常にうれしいことでしたし、なにより研究を続けていく上での

大きな自信につながったと記憶しております。

いま思うに大変幸運だったのは、初めて獲得した研究費が新学術領域というチーム型であったことです。他の研究グループとのつながりがさほど強くない若手研究者にとって、学会より密に情報交換ができ且つ研究者間の交流がもてる場は大変貴重でした。おかげさまで二層グラフェンの研究を通して、長汐先生始め多くの方々と議論することができました。次期の共同研究の足がかりもできました。また、合成班が推進してきた研究内容などは私にとってこれまで十分フォローしていないテーマばかりで学びの多いものでした。同じチームに属したことも何かの縁、第一原理計算で評価したい対象がございましたらぜひともお声がけください。

さて、これにて今期の公募研究は終了いたしますが、もちろん、次期公募も申請させていただいております。扱う予定の物質は現在の二層グラフェンではありませんが非常に重要な原子層物質であると自負しております。プロポーザルが無事評価され、次期この研究紹介が SATL でできることを願いつつ、それではこのあたりで結びとさせていただきます。御精読ありがとうございました。



理論班 安藤 康伸
東京大学 工学系研究科
専門は計算物質科学お
よびマテリアルズ・イン
フォマティクス。新規な原子
層物質とその表面・界面
物性が引き起こす機能を
シミュレーションによって

明らかにしたい。

○イベント報告

◆第 6 回原子層科学全体会議

日時: 2016 年 2 月 17 日(水)18 日(木)

場所: 東北大学 青葉山キャンパス

プログラム URL:

<http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/archives/meeting/6th/160115.pdf>

第 6 回全体会議では、総勢 60 名のメンバーが東北大青葉山キャンパスに集まりました。最

初に領域代表から中間審査の結果について説明がありました。今回の全体会議は、公募班の総括ということで、2 年間の研究成果の報告がありました。また、2 日目は、M. S. Dresselhaus 教授名誉博士号授与記念シンポジウムと合同ですべて英語にて会議が進められました。午前中は、計画班・公募班から代表して 8 名が研究報告を行い、午後からは遠藤守信先生、Y. H. Lee 先生の特別講演もあり、非常に活発な議論がありました。

全体会議は、一般公開されていて、一般の方からご参加いただきました。お礼とともに、大学院生など若い人の参加をお待ちしています。



全体会議での写真

◆東北大学名誉博士号授与・記念シンポジウム Mildred S. Dresselhaus 教授 (MIT)

カーボン研究の第一人者である M. S. Dresselhaus 教授の東北大学博士号授与・記念シンポジウムが行われました。Dresselhaus 先生の名誉博士は、今回の日本での受賞で 33 回目で米国を含めて 11 か国での受賞になります。



授賞式での写真.

・授賞式

日時:2016 年 2 月 17 日(水)

場所: Westin hotel 仙台

・シンポジウム

日時:2016 年 2 月 18 日(木)

場所:東北大学 青葉山キャンパス

◆物性班企画 原子層作製技術講習会

グラフェン、MoS₂、h-BN の劈開と探索を実習してもらい、ミニ研究会、懇親会 を開催しました。今年度も参加者には大変好評だったと思います。今回は領域外の方も 2 名参加頂きました。

日時:2015 年 11 月 12 日

会場:東京大学駒場キャンパス 町田研究室



◆6th A3 Symposium on Emerging Materials

日本、中国、韓国のカーボン系の研究者が九大に集まり、ナノカーボン及び新規 2 次元系に関するワークショップが開催されました(原子層科学は共催)日本 15 名(新学術から 9 名)、中国 11 名、韓国 13 名の招待講演者、全体で 100 名程度が参加し、議論しました。

日時:2015 年 11 月 9 日(月)-12 日(水)



◆1st Japan-EU Workshop on graphene and Related 2D materials

日本と EU の間でグラフェン及び 2D 材料に関して議論するワークショップが東京で開催されました(原子層科学は共催)。3 日間にわたり物理・化学から結晶成長、応用展開まで含めて多岐にわたり議論しました。EU から 11 名の研究者が来日し、日本からも 16 名(新学術から 9 名)が参加しました。

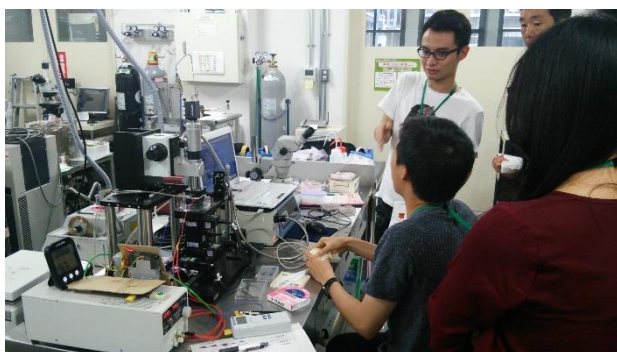
日時:2015 年 10 月 31 日(土)-11 月 2 日(月)

◆応用班企画 原子層複層化技術講習会

2D 原子層の複層化技術の習得を目指し、一般的に用いられる PDMS の作製法や、h-BN 上にグラフェンをドライ環境でスタックする方法を実習しました。原子層科学の領域内 21 研究室からの参加があり、様々な作製法を議論しました。

日時:2015 年 10 月 2 日-10 月 3 日

会場:東京大学本郷キャンパス 長汐研究室



○学術調査官の先生が交代されました。

本領域を担当されます学術調査官が、長谷川靖洋先生(埼玉大学大学院理工学研究科)から、片桐清文先生(広島大学大学院工学研究院)と高橋俊樹先生(群馬大学大学院理工学府)の 2 名の先生に交代されました。長谷川先生お疲れさまでした。片桐先生、高橋先生宜しくお願い致します。

○メディア・プレスリリース

◆2016 年 2 月 4 日

グラフェンの超伝導化に成功-“質量ゼロ”の電子が“抵抗ゼロ”で流れる-

東北大学 AIMR の菅原克明助教と高橋隆教授、および東京大学の一ノ倉聖大学院生と長谷川修司教授の研究グループは、グラフェンを超伝導にすることに成功しました。グラフェンは内部に超高速電子を持つことから、高速電子デバイス材料として大きな注目を集めていますが、今回の超伝導化の成功により、その電子を“抵抗ゼロ”で流すことを可能にしたことで、超高速超伝導ナノデバイスへの応用開発がさらに進むものと考えられます。

S. Ichinokura, et al., ACS nano, 2016, (available in online).

◆2015 年 12 月 11 日

電子・正孔対が作る原子層半導体の作製に成功-グラフェンを超える電子デバイス応用へ道-

東北大学 AIMR の菅原克明助教、一杉太郎准教授、高橋隆教授、同理学研究科の佐藤宇史准教授らの研究グループは、グラフェンを超える電子デバイスへの応用が期待されているチタン・セレン(TiSe_2)原子層超薄膜の作製に成功しました。さらに、1 層の TiSe_2 超薄膜の電子状態を詳細に調べた結果、その特異な金属状態を生み出している原因は、薄膜中の電子と正孔が結合して対を作っているためであることを見出しました。

K. Sugawara, et al., ACS nano, 2016, 10, 1341.

◆2015 年 11 月 16 日

二層グラフェンで「バレー流」の生成、検出に初めて成功~バレーを利用した低消費電力エレクトロニクスの実現へ~

東京大学大学の島崎祐也、山本倫久講師、樽茶清悟教授らの研究グループは、理化学研究所創発物性科学研究センター、物質・材料研究機構(谷口尚 グループリーダー、渡邊賢司 主席研究員)との共同研究により、結晶の対称性を電氣的に制御できる二層グラフェンにおいて、バレー流の生成、検出に初めて成功しました。

Y. Shimazaki, et al., Nature Phys., 2015, 11, 1032.

◆2015 年 10 月 26 日

グラフェンナノリボンによる紫外光のテラヘル

ツ変調ーテラヘルツ波発振素子の可能性をシミュレーションー

産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門
宮本 良之 研究グループ長と、中国 四川大学 Hong Zhnag 教授、Xinlu Cheng 教授、ドイツ マックスプランク Angel Rubio 教授は、グラフェンナノリボンが紫外光をテラヘルツの周期で変調させる作用があることをシミュレーションで発見した。この計算結果 から、テラヘルツ波発振素子への応用を提案しました。
H. Zhang, et al., Nanoscale, 2015, 7, 19012.

◆2015 年 9 月 15 日

“グラフェン”における電子の分配を世界で初観測！～電子の波動性を利用した電子干渉デバイスの実現へ～

小林研介(大阪大学教授)と松尾貞茂(東京大学助教)は、小野輝男(京都大学教授)および塚越一仁(物質・材料研究機構主任研究者)らの研究グループとの共同研究により、金属と半導体の両方の性質を持つグラフェン中に形成されたpn接合での量子ホール状態における電流ゆらぎを精密に研究し、pn 接合によって電子が接合の左右に分配される様子を、電流ゆらぎとして初めて観測することに成功しました。また、pn 接合がない際には、異なる量子ホール状態の接合があった場合でも電子が分配されないことも同時に明らかになりました。
S. Matsuo, et al., Nature comm., 2015, 6, 8066.

○お知らせ・受賞等

◆榎敏明先生(総括班評価委員)が、インド化学会の Mizushima-Raman Lecture Award を受賞されました。

◆丸山茂夫教授(A01 合成班)の研究協力者千足昇平助教が、同専攻で准教授に昇任しました。

◆若林克法教授(A04 理論班)の研究協力者 Hai-Yao Deng 博士(JSPS 外国人特別研究員)が、Exeter 大学の Junior Lecturer (tenure track)に採用されました。

◆廣戸聡助教(A01 合成班)の研究協力者 横

井 寛生君 (博士後期課程1年)が、IGER 平成27年度年次報告会でポスター賞を受賞しました。

◆北浦良准教授(A01 合成班)の研究協力者中西勇介君(博士課程)が、IGER Annual Meeting にて Annual Research Award を受賞しました。

◆北浦良准教授(A01 合成班)の研究協力者佐々木祐生君(博士課程)が、IGER Annual Meeting にて Poster Award を受賞しました。

◆依光英樹教授(A01 合成班)が Angewandte Chemie 誌で特集されました。

◆楠美智子教授(A01 合成班)の研究協力者増森 淳史君 (修士課程2年)が、日本表面科学会中部支部学術講演会で講演奨励賞を受賞しました。

◆楠美智子教授(A01 合成班)の研究協力者松田 敬太君 (博士後期課程1年)が、日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会で優秀講演賞を受賞しました。

◆依光英樹教授(A01 合成班)の研究協力者山元裕太郎君 (博士後期課程2年)が、第 42 回有機典型元素化学討論会でポスター賞を受賞しました。

◆町田友樹准教授(A02 物性班)の研究協力者森川 生君(博士後期課程2年)が、第 39 回応用物理学会講演奨励賞を受賞しました。

◆廣戸聡助教(A01 合成班)の研究協力者 横井 寛生君 (博士後期課程1年)が、分子研リトリート研修で優秀ポスター賞を受賞しました。

◆依光英樹教授(A01 合成班)のベンゼン環連結反応の論文が、Featured Article として掲載誌の Front Cover を飾りました。

◆坂本良太助教(A01 合成班)がエヌエフ基金第 4 回研究開発奨励賞を受賞しました。

◆廣戸聡助教(A01 合成班)の研究協力者 伊藤 寛君 (博士後期課程3年)が、名大応化会博士学術賞を受賞しました。

◆宮田耕充(A01 合成班)の研究協力者 小林 佑君 (博士前期課程2年)が、第 49 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム 若手奨励賞を受賞しました。

◆宮田耕充(A01 合成班)の研究協力者 藤原 美帆さん(博士後期課程3年)が、第 49 回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム 若手奨励賞を受賞しました。

◆小山剛史講師(A02 物性班)が名古屋大学大学院工学研究科准教授に昇任しました。

◆河野行雄准教授(A03 応用班)が第 14 回ドコモ・モバイル・サイエンス賞(基礎科学部門)を受賞しました。

◆依光英樹教授(A01 合成班)が Mukaiyama Award を受賞することに決まりました。“The curiosity-driven invention of useful reactions and synthetic strategies of striking originality, covering a vast range of chemical sciences from bioactive molecules to atomic layers”

◆竹延大志教授(A03 応用班)の研究協力者 蒲江君 (博士課程)が Journal of Materials Chemistry A 賞を受賞しました。

◆廣戸聡助教(A01 合成班)の窒素原子を中心に持つバッキーボウルの論文 (Nat. Commun. 6. 8215)が、Natureasia.com にてハイライトされました。

◆若林克法教授(A04 理論班)の研究協力者 Sudipta Dutta 博士(ICYS-MANA 研究員)が、Indian Institutes of Science Education and Research (IISERs) Tirupati の Assistant Professor に採用されました。

◆楠美智子教授(A01 合成班)の研究協力者 包建峰研究員が The 8th Nagoya

Univ.-Tsinghua Univ.-Toyota Motor Corp.-Hokkaido Univ.- XinJiang Normal Univ.(NTTHX) Joint Symposium にて優秀ポスター賞を受賞しました。

◆河野行雄准教授(A03 応用班)の研究協力者 鈴木大地君 (博士課程)が 7th Multidisciplinary International Student Workshop (MISW 2015)にて最優秀賞を受賞しました。

◆坂本良太助教(A01 合成班公募)が平成 27 年度錯体化学会研究奨励賞を受賞しました。

○今後の予定

◆第 7 回原子層科学全体会議

日時:2016 年 9 月 29 日、30 日

場所:産業技術研究所(つくば)

詳細は後日 HP に掲載します。

◆理論班 第一原理電子構造計算講習会

quantum-ESPRESSO と呼ばれる第一原理電子構造計算コードの使い方を中心に、密度汎関数理論の基礎も解説します。

日時:2 月 29 日(月)、3 月 1 日(火)

場所:東京工業大学 齋藤晋研究室

詳細は HP をご覧ください。

○編集後記

新学術「原子層科学」がスタートして 2 年半が経ち中間審査を無事に終えました。さらなる展開を目指して、60 名を超える領域メンバーで頑張っていきたいと思っています。その雰囲気少しでもこのニュースレターでお伝えできれば幸いです。是非、研究の合間に目を通して頂ければと思っております。

ニュースレターの充実のため皆様からのご意見をお聞かせください。

長汐: nagashio@material.t.u-tokyo.ac.jp

○事務局

編集メンバー: 長汐晃輔(応用班・東大)、北浦良(合成班・名大)、依光英樹(合成班・京

大)、越野幹人(理論班・東北大)、山本倫久(物性班・東大)、劉崢(物性班・AIST)、塚越一仁 (応用班・NIMS)

発行・企画編集: 文科省 科研費 新学術領域「原子層科学」総括班・事務局

HP: <http://flex.phys.tohoku.ac.jp/gensisou/>

Facebook: <https://www.facebook.com/gensisou>

連絡先: 編集責任者 長汐晃輔(東京大学) nagashio@material.t.u-tokyo.ac.jp