

名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー ニュース

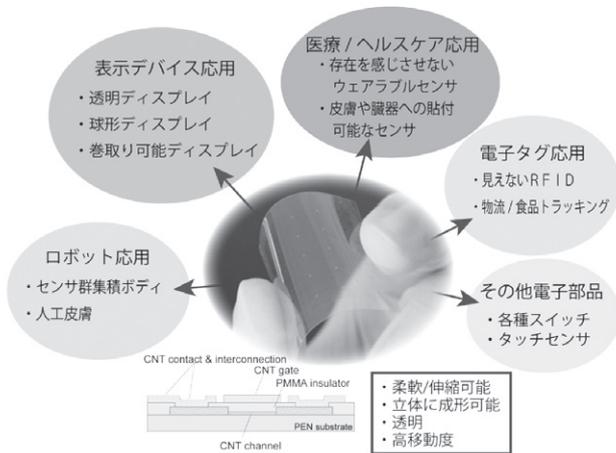
平成28年2月1日発行

第20巻第2号

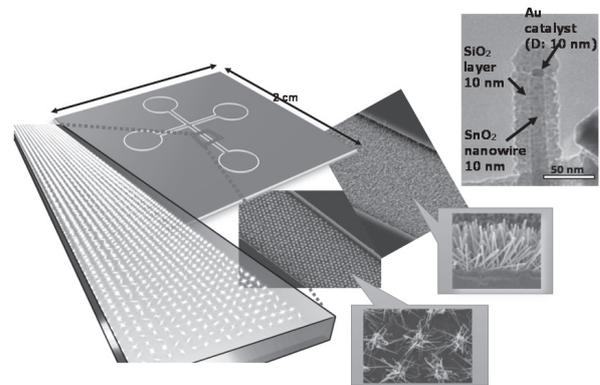
〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL (052)789-5447 FAX (052)789-5448 <http://www.vbl.nagoya-u.ac.jp>

ISSN 1342-8640

安全・安心社会の構築と新産業創出への貢献



オールカーボン電子デバイスの特徴と各種応用の可能性.



DNA 解析用ナノワイヤデバイスの開発

CONTENTS

ベンチャービジネス特論実施報告..... 2

最先端理工学実験報告..... 2

研究紹介(1) カーボンナノチューブ薄膜で実現される柔軟で透明な集積回路..... 3

研究紹介(2) アモルファスカーボンからの絶縁基板上へのグラフェン形成..... 4

研究紹介(3) ナノワイヤデバイス開発とDNAおよびタンパク質の高速解析..... 5

第19回VBLシンポジウム..... 6

平成27年度第1回VBLセミナー報告..... 7

平成27年度第2回VBLセミナー報告..... 7

平成27年度第3回VBLセミナー報告..... 8

平成27年度第4回VBLセミナー報告..... 8

ベンチャービジネス特論 I 実施報告

「ベンチャービジネス特論 I」は、理科系大学院生を対象としたアントレプレナー教育の最も基礎として行う講義です。この講義は、社会としての起業や新規事業の必要性の認識、起業や事業化を考える時、必要となる経営、資金、法律等に関する最も基本的な知識の習得を目的としています。起業・新規事業コンサルティングの株式会社アセット・ウィッツ 取締役社長の南部修太郎先生の起業の実践論、豊田合成株式会社 顧問 太田光一先生の大学の研究が新規事業に発展した青色 LED 事業、名大の教員が起業した事例など、より具体的な起業・新規事業の取り組みを聴講できます。本講義を通じて、学生達にベンチャー魂が芽生えれば幸いですと考えております。(写真は、豊田合成株式会社 太田先生の講義風景)



最先端理工学実験実施報告

最先端の高度な知識と技術を習得する学生実験カリキュラムである「最先端理工学実験」を実施しています。現代科学では欠かせなくなった科学シミュレーションを行う CAD 分野とデバイスプロセスや解析を学ぶナノプロセス分野の二つの分野からなり、本学 VBL の設備を学生自らで利用し、最先端の研究実験が行えます。CAD 分野では、VBL が保有する計算シミュレーションソフトウェア (ダッソー・システムズ社 Materials Studio および Discovery Studio) を学生が実際に研究しているテーマに応用する実験を行います。本年度は、マテリアルサイエンス系 8 名、ライフサイエンス系 2 名の受講者に基礎と応用の 2 度の講習を実施し、各自の研究に直結したテーマで計算機実験を行ないました。ナノプロセス分野では、「斜入射 X 線散乱手法による高分子液晶薄膜の配向解析」という課題の研究を集中的に行い、一定の成果を得ることができました(図 1)。全受講者の成果発表会は、12月2日に行われ、異分野の学生間で活発に討論を行いました(図 2)。



図1 高分子液晶薄膜の斜入射 X 線散乱像

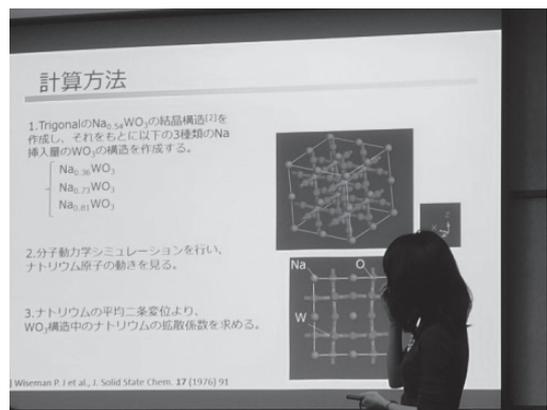


図2 成果報告会の風景

研究紹介 (1)

カーボンナノチューブ薄膜で実現される柔軟で透明な集積回路

未来材料・システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高

カーボンナノチューブ(CNT)薄膜は優れた電氣的・光学的・機械的特性に加え、多機能性を兼ね備え、広範囲のエレクトロニクス応用が考えられる。薄膜に用いるCNTの種類や数密度によって、半導体的あるいは金属的特性を選択することが可能である。半導体的薄膜は薄膜トランジスタ(TFT)やバイオセンサ等の各種センサに、金属的薄膜は透明導電膜やタッチセンサ、配線、電気化学センサ用の電極などに用いることが可能であり、多様な機能を持たせられる。また、簡便な塗布法や転写法などの室温・大気圧プロセスにより成膜でき、また印刷プロセスとの親和性も高い。最近、CNTを用いて、転写法により安価にタッチパネルを量産する技術が開発され、低価格帯のスマートフォンに搭載されている。CNT薄膜のように、複数の機能と優れた性能、プロセス性を兼ね備えた薄膜材料は希である。

最近、我々はCNT薄膜の多機能性を生かしたオールカーボン電子デバイスを実現している。半導体層と電極・配線をCNT薄膜で形成し、図1に示すような透明で柔軟な集積回路を実現している。絶縁膜に熱可塑性樹脂を用い、集積回路を様々な立体形状に成形可能であることも実証している。これらの特長を生かすと、透明で存在を感じさせないデバイスや、自在に形状が変化しデザイン性に富んだデバイスを実現できる。例えば、透明ディスプレイや球面型ディスプレイなどの新規表示デバイス、各種センサを集積したロボット用人工皮膚やウェアラブルなヘルスケアデバイスなどが考えられる。

作製したオールカーボン集積回路はチャンネルと電極・配線にCNT薄膜を、また絶縁膜材料にアクリル樹脂を用いた。CNT薄膜は室温・大気圧の転写法により形成した。図2(a)は作製したTFTの転送特性である。転送特性から見積もられる移動度は $1.027\text{cm}^2/\text{Vs}$ と極めて高く、Siウェハ上に形成したMOSFETに匹敵する。曲げ特性も良好であり、曲げ半径8mmの場合においてもTFTの特性の変化は見られていない。集積回路としては基本的な論理ゲートに加え、リング発振器(図2(b))やSRAMなども実現している。

全カーボン集積回路はCNT薄膜またはプラスチック材料で構成されており、柔軟性のみならず伸張性も持っており、一般的なプラスチック材料と同様に、加熱成形技術により立体形状に成形することも可能である(図2(c))。プラスチックフィルムを立体形状に成形すると2軸のひずみが導入されるが、本デバイスは18%の伸張を施しても正常に動作した。加熱成形技術は日用品や子供のおもちゃ、電化製品の筐体、医療器具など、多岐にわたるプラスチック製品の製造に用いられている。電子デバイスを任意の形状に成形できれば、プラスチック製品に電子的機能を容易に実装でき、また、電子デバイスのデザイン性を広げることに繋がる。

安全・安心社会の構築と新産業創出への貢献

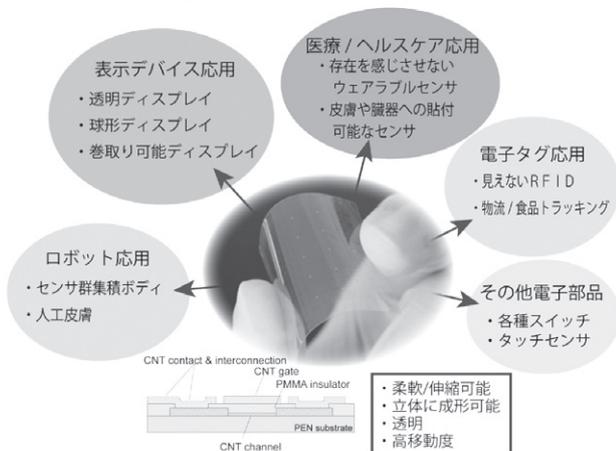


図1 オールカーボン電子デバイスの特徴と各種応用の可能性。

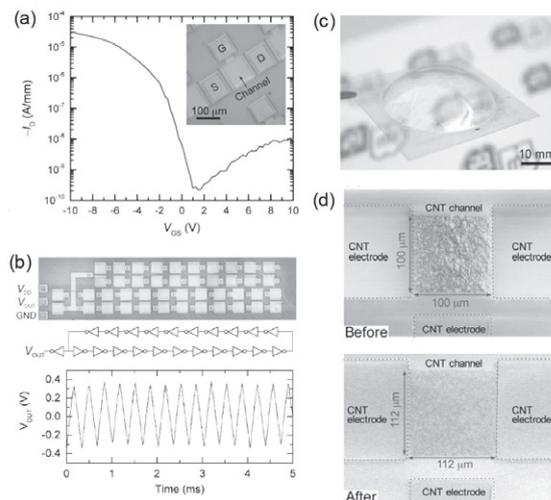


図2 (a) オールカーボン TFTの転送特性。
(b) リング発振器、
(c) ドーム状にされたオールカーボン集積回路、
(d) 成形されたTFTのSEM像(成形前後)。

研究紹介 (2)

アモルファスカーボンからの絶縁基板上へのグラフェン形成 Formation of graphene from amorphous carbon on insulating substrates

工学研究科 量子工学専攻 長谷部 洋平(M2), 安坂 幸師 (講師), 中原 仁(助教), 齋藤 弥八(教授)

グラフェンは、室温において約 $100,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高い移動度や 10^9 A/cm^2 以上の電流密度耐性など優れた特性を有しており、次世代の電子デバイスへの応用が期待されている。グラフェンの作製手法として金属基板表面にグラフェンを形成させる化学気相成長法が広く用いられているが、作製したグラフェンを電子デバイスへ応用する際に、金属基板からグラフェンを剥離し、所望の絶縁基板上へ転写する必要がある。この転写過程において、グラフェンに不純物や欠陥が入り、グラフェン電子デバイスの性能が低下することが報告されている。そこで本研究では、転写を要しないグラフェン成長法として、アモルファスカーボン (a-C) を SiO_2/Si 基板上に堆積し、その熱処理によりグラフェンを得る手法を試み、得られたグラフェンの構造評価を透過電子顕微鏡法 (TEM)、ラマン分光法などにより行なった。

Si 基板上に SiO_2 、炭素および触媒金属を同一真空チャンバー内で電子ビーム蒸着し、1173 K で 10 分間、0.2 kPa 程度の低真空中で熱処理することにより炭素層をグラファイト化させた。触媒金属には Fe, Ni, Cu を用いた。図 1 に、熱処理前 (a) と 1173 K で熱処理した後 (b) の Fe (膜厚 60 nm)/C(10 nm)/ SiO_2 (30 nm)/ Si 試料断面の TEM 像を示す。熱処理前の炭素はアモルファスであるが、熱処理により 6 層程度の多層グラフェンが SiO_2 層表面に沿って形成したことがわかる。図 2 は、1173 K で 10 min 間熱処理した後、触媒金属を化学エッチングにより除去した試料からのラマンスペクトルである。図 2(b), (c) および (d) の試料の触媒金属は、それぞれ Cu, Ni, Fe である。熱処理前の C(10 nm)/ SiO_2 (30 nm)/ Si では、図 2(a) のラマンスペクトルが示すように炭素層はアモルファスである。図 2(b) では、グラフェンに由来する明瞭な G および 2D ピークが観測されないことから、Cu 触媒を用いた試料では加熱後においても a-C はグラファイト化していないことが分かる。一方、図 2(c) および (d) では、G および 2D ピークが観察されることから、Ni および Fe 触媒を用いた試料では a-C がグラファイト化していることがわかる。図 2(d) では、2D ピークの強度 (I_{2D}) に対する G ピークの強度 (I_G) の比 (I_G/I_{2D}) が 1 程度であることから多層グラフェンの存在が示唆される。この結果は、図 1(b) に示した TEM 像の観察結果とも一致している。また、Fe と Ni 触媒の試料においてグラフェンのドメインサイズを I_G と D ピークの強度 (I_D) との比 (I_G/I_D) から概算すると、それぞれ約 300 nm と約 50 nm であると見積もられ、Fe 触媒により得られたグラフェンのドメインサイズは Ni のそれよりも約 6 倍大きいことが明らかになった。

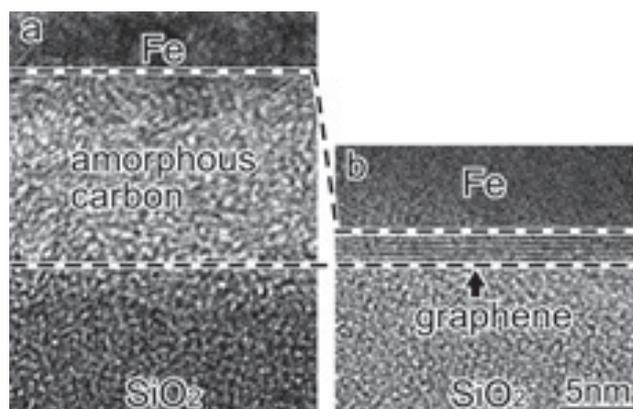


図1. 断面 TEM 写真

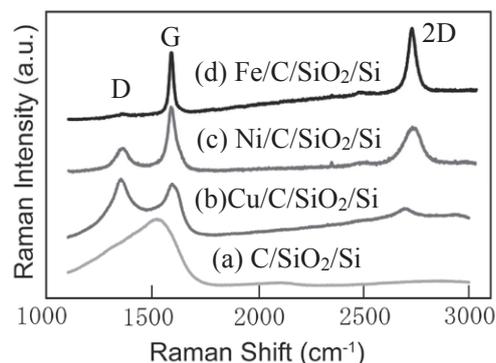


図2. ラマンスペクトル

研究紹介 (3)

ナノワイヤデバイス開発と DNA およびタンパク質の高速解析

工学研究科 化学・生物工学専攻 馬場 嘉信

DNA やタンパク質に代表される生体分子の解析は、ヒト・ゲノム解析、プロテオミクス解析からがんなどの疾患の早期診断等の医療応用が期待されており、新規ナノ構造を用いた生体分子の高速・高性能解析技術の開発が世界的に進められている [1-3]。

我々は、DNA 等の生体分子に応用可能なマイクロ流体デバイスのマイクロチャンネル中に、望みの位置に、望みの直径で、望みの長さで、望みの数のナノワイヤ構造を構築する新たな微細加工技術を開発した (図 1)[4]。

DNA の解析の際には、DNA の物理的構造を表すパラメーターである persistence length より小さい構造を構築することが重要である。DNA の persistence length は、50 nm 程度であり、本技術により、50 nm より細いナノワイヤを構築することで、DNA の 1 分子操作と完全伸長に成功し、DNA 解析の高速化を達成した。

さらに、マイクロ流体デバイス上に 3 次元ナノワイヤ構造を構築することに成功し (図 2)、DNA のみならず、RNA やタンパク質などの比較的分子量の生体分子の高速解析にも成功した [5-8]。本方法では、最初に作成したナノワイヤの側面からナノワイヤを多数成長させる技術を構築することで、枝分かれ構造を有する 3 次元ナノワイヤ構築に成功した。成長過程を繰り返すことにより、容易により小さいナノ構造を構築することが可能である。3 回～5 回程度の繰り返し成長させた 3 次元ナノワイヤ構造により DNA を高速解析することに成功した [5]。本論文は、Nature Publishing Group の注目の論文に選ばれた [6]。さらに、7 回以上繰り返し成長させた 3 次元ナノワイヤ構造により、より低分子の RNA やタンパク質を高速解析することに成功した [7]。これは、ナノ構造による、世界で初めての研究成果であり、この論文 [7] も Nature Publishing Group の注目の論文に選ばれた [8]。

現在、さらに高機能化したナノワイヤを開発している。

1. N. Kaji, et al., Nanopillar, nanoball, and nanofibers for highly efficient analysis of biomolecules, *Chem. Soc. Rev.*, 2010, 39, 948.
2. K. Dorfman, DNA electrophoresis in microfabricated devices, *Reviews of Modern Physics*, 2010, 82, 2903.
3. T. Yasui, et al., Nanobiodevices for Biomolecule Analysis and Imaging, *Annual Rev. Anal. Chem.*, 2013, 6, 83.
4. T. Yasui, et al., DNA Manipulation and Separation in Sub-Lithographic Scale Nanowire Array, *ACS Nano*, 2013, 7, 3029.
5. S. Rahong, et al., Ultrafast and Wide Range Analysis of DNA Molecules Using Rigid Network Structure of Solid Nanowires, *Scientific Reports*, 2014, 4, 5252.
6. Nature Publishing Group, Highlight Paper, Aug. 19, 2014, <http://www.natureasia.com/ja-jp/srep/abstracts/55185>
7. S. Rahong, et al., Three-dimensional Nanowire Structures for Ultra-Fast Separation of DNA, Protein and RNA Molecules, *Scientific Reports*, 2015, 5, 10584.
8. Nature Publishing Group, Highlight Paper, Aug. 25, 2015, <http://www.natureasia.com/ja-jp/srep/abstracts/66940>

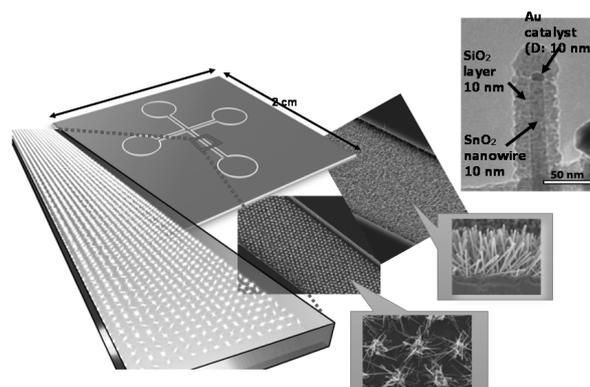


図1 DNA 解析用ナノワイヤデバイスの開発

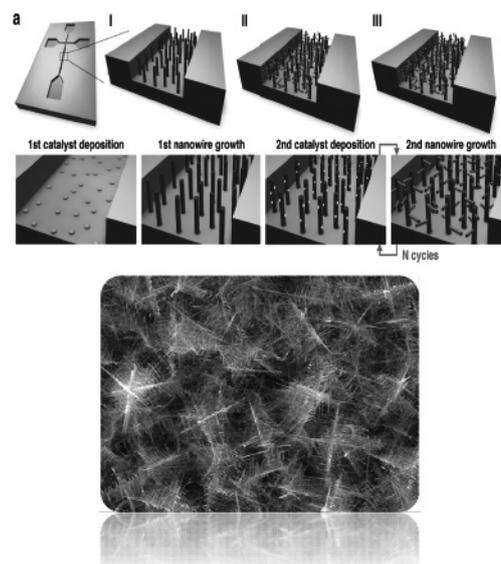


図2 DNA、タンパク質解析用3次元ナノワイヤデバイスの開発

第 19 回 VBL シンポジウム

平成 27 年 11 月 9 日(月)、10 日(火)の両日に、VBL フロンティアプラザにて、第 19 回 VBL シンポジウム「有機ナノ電子デバイスの物理と化学」(共催：日比科学技術振興財団)を開催しました。

初日は、熊本大学の速水 真也 先生と千葉大学の山田 豊和 先生による招待講演、名古屋大学の鳥本 司 先生、土射津 昌久 先生による講演がなされました。速水先生には、「スーパーマテリアルとしての酸化グラフェン」という題目で、酸化グラフェンのプロトン伝導特性や電池材料への応用研究などの成果を紹介して頂きました。山田先生には、「STM による有機分子 1 個の電子状態と電子伝導測定」という題目で、STM を用いた分子マニピュレーションやスピントロニクスへの応用に向けた成果についてご講演を頂きました。

二日目は、北陸先端科学技術大学院大学の高村 禪 先生と京都大学の宮内 雄平 先生による招待講演、名古屋大学の堀 勝 先生、中里 和郎 先生による講演がなされました。高村先生には、「マイクロ流体デバイスとそのバイオセンサ応用」という題目で、操作性の高い高感度なマイクロ流体デバイスや熱パルスイオン源を用いた小型質量分析装置を作製された成果についてご紹介を頂きました。宮内先生は、「ナノカーボン・原子層物質の光機能」という題目で、量子ドット様の局在状態を導入したカーボンナノチューブの高効率な蛍光特性やアップコンバージョン発光といった光機能性についてご講演されました。

VBL が担当する最先端理工学特論の一環として聴講した学生も含めた約 70 名がシンポジウムに参加し、多数の参加者による活発な質疑応答が行われました。



速水先生(熊本大学、左上)、山田先生(千葉大学、右上)、高村先生(北陸先端科学技術大学院大学、左下)、宮内先生(京都大学、右下)によるご講演の様子。

平成 27 年度第 1 回 VBL セミナー報告

報告者：工学研究科 結晶材料工学専攻 電子物性工学講座 飯田 和昌

平成 27 年 5 月 7 日より Vadim Grinenko 博士 (Leibniz Institute for Solid State and Materials Research Dresden) が、VBL に 6 月 5 日まで滞在した。期間中、同博士は工学研究科結晶材料工学専攻の生田研究室と共同研究を行うと共に、平成 27 年 5 月 28 日 (木) 10 時 30 分から 12 時 00 分まで VBL ベンチャーホールにてセミナーを行った。

本セミナーで Grinenko 博士は、「Some open questions: Fe-pnictide superconductors」というタイトルで、鉄系超伝導体における電子対の対称性、電子ネマティック相の存在、量子臨界点が超伝導特性に及ぼす影響の 3 つのトピックについて講演した。最初のトピックでは、これまでに報告されている文献に基づき電子対の対称性を実験的に確かめる方法を提案した。それは、ドーピング量を変化させた試料の傾角粒界が臨界電流に及ぼす影響を調べることである。鉄系超伝導体の電子対の対称性は、超伝導転移温度 (T_c) が最も高くなる最適キャリア量近傍で符号反転の有る s 波 (s_+) と報告されている。しかし、キャリア量を最適よりも多く入れると電子対の対称性が d 波あるいは s_{++} 波に変わる可能性がある。Grinenko 博士が提案した実験を行えば、鉄系超伝導体における電子対の対称性について、手がかりが得られるものと考えられる。

一方、2 つめのトピックでは、Grinenko 博士が報告者の飯田と共同で研究している $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ 薄膜の電子ネマティック相の存在について講演した。特に薄膜ではバルク単結晶に比べて、電子ネマティック相と磁気相転移が現れる温度差が大きくなることを示し、これは基板と薄膜の格子ミスマッチ、あるいは熱膨張ミスマッチによる歪みの影響ではないかと考察した。また、超伝導転移温度、ネール温度、電子ネマティック相の出現温度は、ホール効果から求めたキャリア数でスケール出来ることなどを報告した。

さらに 3 つ目のトピックである量子臨界点については、 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ は最適ドーピング量近傍で有効質量が著しく増大することが報告されている。実際に生田研究室で作製された最適ドーピング量を有する $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 薄膜の自己磁場中における臨界電流密度も非常に大きい ($\sim 10 \text{ MA/cm}^2 @ 4.2 \text{ K}$) ことが分かっている。また量子臨界点から外れた低キャリアドーピング領域の $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 薄膜は、低温領域で上部臨界磁場 (H_{c2}) が急激に増大する特異な振る舞いを示す。これは $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の低リンドープ領域の超伝導状態に Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov (FFLO) 状態が実現している可能性を示唆している。FFLO 状態が出現する温度はリン置換量により変化しないものの、 H_{c2} は変化することが報告された。 T_c 近傍における H_{c2} の傾きの変化もリン置換量により変化する。これら一連の変化について、Grinenko 博士はフェルミエネルギーが小さいことで説明ができると報告した。

平成 27 年度第 2 回 VBL セミナー報告

報告者：工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外 正己

VBL 外国人招へい研究者としてお招きした中国 蘇州大学材料・化学工学部の張正彪 (Zhengbiao Zhang) 教授により、表記セミナーが平成 27 年 7 月 2 日 17 時 00 分から 18 時 40 分まで VBL4 階セミナー室にて開催されました。講演題目は「Precision Synthesis of Polymers: from Microstructures to Topologies」であり、張教授が行っている、水素結合を利用した精密ラジカル重合反応、ポリマー末端基のクリック反応を利用した高分子合成、環状構造をもつ高分子の精密合成について講演をされました。天然に存在する高分子の水素結合の重要性から始まり、水素結合を利用した立体規則性高分子や配列制御高分子の合成、リビングラジカル重合末端の変換反応を用いたクリック反応への利用、さらにそれを利用したさまざまな環状構造をもつ高分子合成に関して、最新の研究成果も踏まえて大変わかりやすく講演をして頂きました。20 名以上の参加者があり、講演終了後には活発な議論が時間を延長して展開され、高分子の精密重合に基づくナノ構造制御に関連した有意義なセミナーとなりました。



平成 27 年度 第 3 回 VBL セミナー報告

報告者：工学研究科 物質制御工学専攻 八島 栄次

VBL 外国人招へい研究者 (VBL 客員教授) としてお招きした中国 吉林大学 化学学院の李明洙 (Myongsoo LEE) 教授により、標記セミナーが平成 27 年 10 月 26 日 15 時から 16 時 30 分まで VBL 3 階ベンチャーホールにて開催されました。講演題目は「Switching of Aqueous Self-Assembly of Aromatic Amphiphiles」であり、超分子化学の分野において世界的に著名な李教授が研究されてきた、精密な分子設計に基づくユニークな芳香族両親媒性分子の合成から自己組織化によるマクロサイクルの形成、さらに、それが一次的に積層して得られるナノチューブの示す様々な機能など、最新の研究成果について分かりやすく講演していただきました。当日は、40 名を超える聴衆にお集りいただき、教員のみならず、学生からの質問も多数あり、活発な議論が交わされる有意義なセミナーとなりました。



平成 27 年度 第 4 回 VBL セミナー

報告者：工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 山口 浩樹

平成 27 年 12 月 4 日 (金) 13 時より約 1 時間、VBL セミナー室において、本年度 7 月 12 日から 10 月 3 日までの報告者自身によるフランスのエク - マルセイユ大学への VBL 海外派遣の報告会としてのセミナーが、「微小スケール温度場において誘起される熱遷移流の研究～エク - マルセイユ大学での在外研究を通じて～」という題目で実施されました。講演においては、高クヌッセン数流れとなる微小スケールにおいて、温度勾配のみによって駆動される熱遷移 (匍匐) 流に関する実験とその解析について報告されました。この熱遷移流の実験的計測はこれまでほとんど行われていませんでしたが、派遣先では新しい計測手法を開発しており、実際に計測した結果として新たに明らかになった問題点とともに詳細に計測手法が紹介されました。それだけではなく、フランスにおける議論好きな研究者たちの様子、消耗品の貸借も含めた日常的な研究グループ間の密接な連携状況、大学院生の日常生活、そして博士論文審査会の様子などのエピソードも報告され、参加者の興味を引いていました。また、特にワークライフバランスに対する文化の違いには衝撃を受けている様子もうかがえました。17 名の参加者にお集まり頂き、活気のあるセミナーとなりました。

