

班の報告

- 情報（記憶）班
- 情報（量子情報）班
- エネルギー班
- 医療班
- 超分子・自己組織班
- ナノ物質・ナノデバイス班
- 量子理論・計算班

情報（記憶）班

中川活二*, 伊藤彰義, 塚本新

1. 平成 24 年度の計画の概略

- 1) 前年度に準備を進めた, 針状アンテナを配置した磁性記録膜への短パルス記録実験について,
 - ・電磁界・熱伝導シミュレーション解析
 - ・構造設計, 電子ビーム露光による試作
 - ・フェムト秒レーザによる記録実験を継続し, 近接場光を用いた世界初のフェムト秒レーザによる熱アシスト磁気記録実証実験の成功を目指す.
- 2) 新規な領域である短時間 (フェムト秒オーダー) での物性応答 (特に, 光学, 熱, 磁性) について, 上記 1) の実験検討と連携して, 物理検討とこの分野に適した材料探索を行う.
- 3) 熱アシスト磁気記録用表面プラズモンアンテナや, 円偏光生成表面プラズモンアンテナへのエネルギー伝搬手法について, 誘電体導波路と表面プラズモンエネルギー伝搬との組み合わせについてシミュレーション検討を行い, 新分野の光エネルギー伝搬手法の検討を行う.
- 4) 既検討課題である自己組織/集積形成ナノテンプレート基板および高磁気異方性 FeCuPt 規則合金微粒子形成手法の相補的利用により, ナノ構造化超高密度記録用磁性膜の形成, 構造/物性解明および記録磁区安定性をマイクロマグネティック・シミュレーションと実験により明らかにする.

2. 平成 24 年度の進捗と成果

- 1) 電磁界と熱伝導シミュレーション解析, アンテナ構造設計と電子ビーム露光による試作, およびフェムト秒レーザによる記録の一連の実験を行い, 近接場光を用いた世界初のフェムト秒レーザによる熱アシスト磁気記録実証実験に成功した. この実験より $166 \text{ nm} \times 120 \text{ nm}$ の記録マークを実現した. これは, 5 年間のプロジェクト最終目標である $77 \text{ nm} \times 77 \text{ nm}$ のマークサイズに到達できていないが, 最終年度での目標達成に大きく進展できた.
- 2) フェリ磁性 GdFeCo へ超短パルス光を照射した際の超短時間磁化応答につき詳細検討を進めた結果として, 磁化反転に磁場は必要なく極短時間の熱エネルギー供給のみで達成できる新規なスピンドYNAMIXSを見出した. 技術的応用上重要な点として, このような反転現象が室温環境下で生じ得ることを実証した事である.
- 3) 誘電体導波路と表面プラズモンエネルギー伝搬との組み合わせた新規な光伝搬手法に取り組み, エネルギー利用効率を増加する光学系の構成があることを見いだした. 更に, 表面プラズモンポラリトンを使った光学系構成で, 円偏光生成を実現できることも新たに見いだした.
- 4) 本提案急速昇温結晶化処理による高磁気異方性 FeCuPt 規則合金微粒子形成手法につき, 詳細微細構造観察により明らかとなった課題である単結晶化を中心に検討を行った. 主な成果として, 急速昇温結晶化処理によりナノ磁性粒子化を行った後, 適切な追加熱処理を行う事で単結晶 FeCuPt 規則合金微粒子が形成可能である事を見出した.

3. 平成 24 年度の班としての活動

6 月開催の韓国での国際会議 (ICM2012, July 8-12, Pusan) にて高磁気異方性材料の成果を 1 件報告し, 10 月の国際会議 (ICAUMS2012, Oct. 1-5, 2012, Nara) においては, 世界初のフェムト秒熱アシスト近接場光記録の成果を含め, 高速磁化反転ダイナミクス, 記録媒体, 局所円偏光生成に関して 6 件の発表を行い, 理論・計算 Gr.の大貫准教授との連名の発表も行った. 班会議は, 毎月 1 回程度の頻度で理論・計算 Gr.の大貫准教授と合同で行い, 本 N ドットプロジェクトによる成果はますます広がりを得ている.

情報（量子情報）班

井上修一郎*, 桑本剛, 羽柴秀臣

1. 平成 24 年度計画

- ① 量子もつれ交換により生成した量子もつれ状態の評価
- ② CdSe コロイダル量子ドットアレイによる単一光子発生デバイスの製作と評価
- ③ 直交偏光光子対の電磁誘起透明化現象の確認および ^{87}Rb 原子中への保存
- ④ シリコン細線導波路の作製とシングルモード導波特性の評価

2. 平成 24 年度の進捗と成果

- ① 長距離量子暗号通信を可能にする量子中継に不可欠な光通信波長帯における量子もつれ交換技術の開発に成功した。量子もつれ交換では 2 つの独立した光子対源から識別不可能な光子を発生させることが最重要課題となる。この識別不可能性に関しては 82 % 以上、量子もつれ交換後の 2 光子干渉明瞭度に関しては 86 % 以上を達成した。これらの結果は、光通信波長帯における世界記録である。（これまでの世界記録は 60 % 程度）また、これまでに開発した高速単一光子検出器を使用することにより、量子もつれ配送レートに関しても世界記録を達成した。
- ② 単一光子発生デバイスに用いる CdSe コロイダル量子ドットは、直径 5 nm の CdSe コアとそれを囲む直径 30 nm のシリカ層からなり、金属導波路を伝搬する表面プラズモンポラリトンとのカップリングを想定した一次元配列を行う必要がある。Si を基盤として ZEP レジストを用いて、幅 55 nm で長さ 1.5 μm のトレンチを作製し、これをテンプレートとしてコロイダル量子ドットを準一次元配列することに成功した。今後、Au ナノストライプ導波路上にコロイダル量子ドットを 1 次元配列し、表面プラズモンポラリトンによる量子ドットの励起および単一光子発生の確認を行う。
- ③ 直交偏光光子対生成のための光源である波長 397.5 nm のレーザー光の発生において、ポンプ光（波長 795 nm）の横モードや周波数安定度の改善を行い、発生効率を 2 倍に改善した。また、蝶ネクタイ型共振器の安定度を改善し、長時間安定発生を可能とした。一方、生成した直交偏光光子対の光学素子による減少（光損失）を最小にするために、光学素子の数や配置の見直しおよび温度安定化を実施した。以上の改良を行ったあと、直交偏光光子対のルビジウム (Rb) 原子への吸収を確認した。Rb 原子を封入しているガラスセルの温度が 95 $^{\circ}\text{C}$ のとき、吸収率は約 97 % であった。ただし、古典光（レーザー光）を使った光保存実験で見いだしている Rb セルの最適温度は約 70 $^{\circ}\text{C}$ であり、この温度での吸収率は約 90 % であった。つまり、10 % 程度の直交偏光光子対は原子と相互作用せず Rb セルを透過していることになる。今後は吸収率 100 % を達成するためのシステムを構築することが課題である。
- ④ SOI 基板上に、波長 630 nm の入射光に対してシングルモードとなる条件を満たした断面 320 nm 角、長さ 1 mm 以上のシリコン細線導波路を作成することに成功した。サイドウォールラフネスは 10 nm 程度と見積もられる。今後はこの導波路における波長 630 nm の光の伝播特性の評価を行う。

3. 平成 24 年度の班としての活動

量子中継技術を実現するための新規ナノデバイスとして、表面プラズモンポラリトンを利用した多チャンネル単一光子発生デバイスを提案した。単一光子源として用いるコロイダル量子ドットの作製は物質応用化学科の大月研に依頼した。また、デバイス設計に関しては電気工学科の大貫研にシミュレーションを依頼した。平成 24 年度は 3 回の班会議を行い、進捗状況の報告と研究の進め方について議論した。また、必要に応じてメールベースで研究計画を遂行するための情報交換を行った。

エネルギー班

橋本拓也*, 西宮伸幸, 浅田泰男, 松下祥子, 大月穰

1. 平成 24 年度の計画の概略

燃料電池については 600°C で作動する材料の発見および開発を第一に行うとともに、小型燃料電池および評価装置を組み上げて作動温度低温化の実証を実施する。

色素増感型太陽電池に関しては、フォトニック結晶を組み込んだものおよび新たな色素を使用したものを検討し、各種電気化学・光学測定からその特性を明らかにする。新たな色素を使用したものについては、有機色素で 5%、新規貴金属色素で 10% 程度の変換効率を目標とする。

光アシスト水素吸蔵を中心とする光エネルギーの化学変換プロセスの開発においては、微生物が産生する水素を回収する水素吸蔵合金の高機能化、水素回収量 1 L の大規模化をねらった菌種特定および光刺激水素吸蔵現象の実証と非レアメタル系への適用を進める。

光触媒に関しては、新たに非貴金属超分子色素を合成し、性能を評価する。

2. 平成 24 年度の進捗と成果

固体酸化物形燃料電池カソード材料に関しては Sr フリーであり固体電解質との化学的な相互作用の少ない $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-\delta}$ の合成方法の最適化および電極作製時の焼結温度最適化まで終了した。また固体電解質としてはプロトン導電体 $\text{BaCe}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$ の合成方法最適化および 3 価イオン M の最適化に終了、M としてはイオン半径が Ce と合っている Y が最適であり、Nd を用いると B サイトイオン半径に合わせて価数が 4+ となって収縮するとともに酸素欠損濃度が低減し、イオン導電体としては不適となることを示した。SOFC 評価装置は立ち上げを行い、現在従来型の燃料電池の作動まで確認している。

フォトニック結晶を組み込んだ色素増感型太陽電池に関しては、まず自己集積型フォトニック結晶において周期に依存した 1 色素・1 光子あたりの光電変換効率向上を確認し、かつその向上は電氣的抵抗だけでは説明できないことを示した。また、リソグラフィ型フォトニック結晶においては太陽電池の基材となる酸化チタンのリソグラフィ技術を確立した。また構造を変化させた有機色素を使用した太陽電池では、昨年度までに光電変換効率 3.1% まで到達したが、今年度はこれ以上の効率を持つ太陽電池は得られなかった。太陽電池に用いる貴金属色素については、電池に適用する前段階として、モデル錯体を合成しその構造と特性を明らかにした。

光アシスト水素吸蔵を中心とする光エネルギーの化学変換プロセスの開発においては、微生物が産生する水素をマグネシウム合金で分離・回収することに成功したほか、横浜国立大学谷生研究室の保有する水素発酵菌混合物からの DNA 抽出、増幅、変性剤濃度勾配ゲル電気泳動分離および塩基配列解析により、水素発酵菌種候補を特定した。また、ホウ素、炭素および/または窒素からなる一群の層状化合物のうち、グラフェン由来の炭素ナノボールによる水素貯蔵の可能性や、窒化炭素系材料による光アシスト水素吸蔵反応の促進を確認した。

光触媒に関しては、新たに非貴金属超分子色素を合成中である。なお計画外ではあるが特筆すべき成果としては太陽電池および光触媒開発研究途上で人工光捕集系の基礎となるクロロフィル誘導体の二重らせん構造の発見、および太陽電池基板に用いる還元酸化グラフェン薄膜の低温合成法の開発に成功が挙げられる。

3. 平成 24 年度の班としての活動

水素発酵菌からの水素発生および貯蔵に関する研究は浅田、西宮の共同研究である。また橋本が実施している液相合成法（ペッチーニ法）については研究報告会で西宮のサジェッションを受け、パテント化を検討している。

医療班

医療班構成メンバー

総合科学研究科生命科学：福田昇（班長）、医学部難治疾患治療開発グループ：齋藤孝輔、五十嵐潤、藤原恭子、相馬正義、医学部放射線科：阿部修、石橋直也、医学部泌尿器科：高橋悟、医学部小児外科：越永従道、生物資源科学部応用生物化学科：舩廣善和、生物資源科学部動物資源科学科：加野浩一郎、薬学部臨床薬物動態学：松本宜明、青山隆彦、千葉県癌研究センター：永瀬浩喜、渡部隆義。

1. 平成 24 年度の医療班研究の進捗と成果

- 1) MYC 結合 E-box に対する PI ポリアミドの開発（難治疾患 G 藤原、千葉癌永瀬）：E-box 配列 CACGTG を完全にまたは部分的に認識する PI ポリアミドはヒト骨肉腫細胞株、慢性骨髄性白血病細胞株に対し増殖抑制効果を示す事を確認した。骨肉腫細胞株においては、増殖能、コロニー形成能、細胞移動能を低下させた。マウス皮下に MG63 を移植して作成した Xenograft の成長も Myc-6 の尾静脈投与により有意に抑制された。
- 2) X 線を用いた光線力学療法のための化合物合成（放射線科阿部、石橋、難治疾患 G 藤原、千葉癌永瀬）：光線力学療法（PDT）や放射線増患効果を利用した Photon Activation Therapy (PAT)による新たながん治療法の開発を試み、この化合物にある特殊な条件の放射線を照射することで、腫瘍細胞死を誘導できることを確認した。
- 3) 小児癌に対する新規抗癌 PI ポリアミド開発（小児外科越永）：LIT1 遺伝子プロモーター領域に CAAT box に結合するよう作成した PI ポリアミドが腎芽腫細胞株で、LIT1 遺伝子発現抑制と抗腫瘍効果を認めた。
- 4) TGF- β 1 に対する PI ポリアミドの前臨床試験（総合科学福田、癌遺伝五十嵐）：実験動物中央研究所においてマーモセット皮膚肥厚性瘢痕に対し、ヒト TGF- β 1 に対する PI ポリアミド GB1101 の瘢痕形成抑制を認めた。
- 5) Sutablon と PI ポリアミドによる iPS 細胞誘導（総合科学福田、癌遺伝齋藤、生物資源舩廣）：レトロウイルスベクターを用いたヒト iPS 細胞誘導時に初期化因子とともに、もしくはフィーダー細胞にリシードした時に TGF- β 1 阻害剤、TGF- β 1 に対する PI ポリアミド、Apigenin をそれぞれを用いた時の iPS 細胞の誘導効率を検討した。
- 6) 多能性前駆細胞 DFAT 移植による乳癌発症モデルマウスの作製（生物資源加野）：乳腺上皮細胞へ転換する DFAT-GFP に癌原遺伝子を導入し、その発現をコンディショナルに調節することによって、より自然な乳癌の発生および進行を誘導可能な新規の乳癌発症モデルマウスの開発を行った。
- 7) PI ポリアミドとヒストン脱アセチル化酵素阻害剤による癌抑制剤の開発（千葉癌永瀬、渡部）：PI ポリアミドとヒストン脱アセチル化酵素阻害剤 SAHA との複合化合物を合成し、ある特異性を持ってゲノム上の特定の部位のヒストンアセチル化を誘導することに成功した。さらに環状 PI ポリアミドを通常のアミノ酸であるグルタミン酸を用いることで固相合成法により簡便に合成する方法を見出した。
- 8) 光線力学治療化合物の薬物体内動態/薬効解析（薬学部松本、青山、理工大月）：腫瘍親和性および放射線増感作用を期待し大月班により合成された新規化合物 CT101019a の HPLC による血漿中濃度測定系を確立し、ラットにおける体内動態を検討した。
- 9) プラズマによる皮膚悪性黒色腫の治療法開発（総合科学福田、難治疾患 G 齋藤、藤原、理工浅井）：皮膚悪性黒色腫に存在するメラノーマ幹細胞をターゲットに、メラノーマ幹細胞の活性酸素種耐性 CD44 を抑制する全トランスレチノイン酸(ATRA)を投与し、プラズマからの活性酸素種による、悪性黒色腫の治療法開発研究を開始した。

2. 平成 24 年度の医療班としての活動

- 1) 毎週 1 回 N. 研究プロジェクトミーティングにて実験進捗と計画の確認
- 2) TGF- β 1 に対する PI ポリアミドの前臨床試験では共同研究先実験動物中央研究所マーモセットチームと年 4 回打ち合わせ
- 3) 6 月：PI ポリアミドの軟膏化の為、医学部附属板橋病院薬剤部製剤室、薬学部臨床薬物動態学との共同研究話し合い
- 4) 10 月：TGF- β 1 に対する PI ポリアミドの薬物動態の共同研究を薬学部で打ち合わせ
- 5) 11 月：理工学部との共同研究プラズマによる皮膚悪性黒色腫の治療法開発の打ち合わせ
- 6) 12 月：TGF- β 1 に対する PI ポリアミドの創薬開発について薬学部で講演

超分子・自己組織班

伊掛浩輝*, 伊藤彰義, 大月穰, 塚本新, 松下祥子

1. 平成 24 年度 研究計画

N.研究プロジェクトにおいて、基盤的な位置づけにある超分子・自己組織班では、**ナノ物質系と光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出**をテーマに、社会が持続的に発展をする上で欠かせない重要なテーマについて検討し、さらには本プロジェクトのアウトプットである**情報**、**エネルギー**、**医療班**と連携を密に、新規マテリアルの創製をめざしている。以下に各グループの活動内容を列記する。

2. 各グループの研究活動報告

・伊藤・塚本グループ

本研究では、ナノスケール配列構造を有する磁性媒体を得る手法として、自己組織/集積化現象を利用し、形成した超高密度なナノ構造を表面に有するテンプレート基板の作製とその利用を提案し検討する。本年度は、高磁気異方性単結晶 **FeCuPt** 規則合金微粒子の形成手法について検討した。ナノ磁性粒子を形成した後、適切な追加熱処理を行うことで、膜面に対し c 軸配向している単結晶 **FeCuPt** 規則合金微粒子の形成が可能であることを見出した。

・大月グループ

適切に設計された分子の自己集合は、ナノ構造を構築するための有力なボトムアップ的手法である。本グループでは、新しい分子の自己集合系を開発し、分子レベルでの自己集合構造、そのダイナミックな挙動を明らかにするとともに、N.研究プロジェクトの研究者との連携によって、エネルギー、医療、情報への応用を検討している。

1. 分子の自己集合構造と動的挙動の分子レベルでの解明
2. 新規ペリレン誘導体による色素増感太陽電池
3. X線を用いた光線力学療法のための化合物合成

・松下グループ

本年度は、自己集積・自己組織化現象による光・量子融合領域の未踏科学開拓と新規技術創出を目的とし、2つのテーマを行った。

1. フォトニック結晶による色素増感型太陽電池効率向上の解明

反応性イオンエッチングにより酸化チタン単結晶の微細加工を試み、酸化チタン単結晶のリソグラフィ技術の確立と作製した微細構造の光学特性について検討した。

2. 微粒子自己集積体による光学デバイス作製

本研究では、誘電体微粒子の2次元自己集積技術を用い、微小突起が平面的・対照的に配列した誘電体—金属ナノ構造体の作製を行う。本年度は **Ni-Au** を用い、誘電体上に均一に金属ナノ薄膜をコートすることに成功した。

・伊掛グループ

PLLA 分子鎖の結晶化や配向化など、分子構造(モルフォロジー)を制御することを目的に、熱処理プロセスに電場印可や磁場照射を併用し、モルフォロジー制御と得られた PLLA 結晶の精密構造解析を行った。その中でも以下の PLLA のモルフォロジーを制御する上で、電場の強さによる影響と磁場照射における等温結晶化プロセスでの温度の影響について検討した。

1. 電場誘起によるポリ-L-乳酸分子鎖の配向制御
2. 強磁場中におけるポリ-L-乳酸フィルムの結晶配向制御

ナノ物質・ナノデバイス班

鈴木薫*, 高野良紀, 浅井朋彦, 岩田展幸, 羽柴秀臣, 十代健, 茶園茂

1. 平成 24 年度の計画の概略

ナノ物質・ナノデバイス班は 1) 層状構造を持つ鉄砒素系超伝導体のバルク $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}$ (R=rare earth) の単相試料の作製を高野が試み、 $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeAsF}$ 薄膜を鈴木が堆積させ、羽柴が量子ドット創成を目指す。岩田は電界による磁化制御型素子の創世を目指す。2) 金属内包カーボンナノチューブを加工し鈴木が走査型プローブ顕微鏡用の磁気センサ開発を、単層カーボンナノチューブのカイラリティを制御し岩田がナノスケール電界効果型トランジスタの作製を試みる。3) 光触媒作用により水素と酸素を発生するナノ薄膜を鈴木が成膜し、水素吸蔵合金を浅井が磁化同軸プラズマガンで溶出形成する。4) 光学ナノ素子と生体物質の結合を十代が担当し、細胞膜受容体タンパク質に蛍光タンパク質などを結合させた高速イメージングを茶園が確立する。

鈴木は 1) 強磁性や常磁性・反磁性金属内包カーボンナノチューブを高アスペクト比で高密度に生成し、集束イオンビーム加工することにより、走査型プローブ顕微鏡用の磁気センサ開発を行う。2) レーザ誘起前方転写法により高分子基板上に光触媒作用による水分解反応で水素と酸素を発生する広バンドギャップ半導体ナノ薄膜を成膜する。3) 1111 系超伝導体のバルクを利用して、パルスレーザ堆積法により超伝導薄膜を作成し、その物性評価を行う。4) 磁化プラズマガンを用いた製膜法について、水素吸蔵合金膜の高速生成への応用を確立し、運転条件の最適化や生成された合金膜の評価を行う。5) 大気圧低温 LF プラズマによる重合反応への基礎実験を自己組織化班；伊掛講師他との共同研究として進める。また、LF プラズマ医療応用の検討を歯学部と歯周病治療へと展開する。6) 自由電子レーザの照射によるヤマトヒメミミズの破片分離と再生・分化に関する研究を歯学部や生産工学部と共同研究を開始する。

高野は $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{FeAsF}$ (R=rare earth) の単相試料の作製を試みるとともに、鈴木教授と共同で $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{FeAsF}$ 薄膜の作成を目指す。

浅井は磁化同軸ガン (MCPG) を用いた TiFe 系薄膜の生成方法について、当初のターゲットであった水素吸蔵合金 TiZrFeMn に加え、酸化チタンやポーラスアルミナへのアルミ注入などへの応用を展開する。(理工学部電気工学科 鈴木薫教授、物質応用化学科 西宮伸幸教授との共同研究) また、大気圧 LF プラズマの医療応用に関する基礎研究として、これまでに材料の表面処理などへの応用を検証してきた大気圧 LF プラズマの医療応用のため、23 年度末より医療班福田教授、産総研小口主任研究員との間で共同研究を立ち上げ癌腫治療などへの応用を目的として、年度中の実験開始へ向けた準備を進めている。(医学部 福田昇教授、産業技術総合研究所 小口治久主任研究員との共同研究) 更に、ミュオン原子中での核融合反応を利用した核融合方式の効率化 のため、FRC プラズマの超音速移送と水素アイスレット入射法を組み合わせた新たな炉方式を提案、ミュオン生成専用の加速器建設も含めた実験の実現へ向け、基礎的研究を開始している。(高エネルギー加速器研究機構 中村英滋講師との共同研究)

羽柴は THz 光子の吸収による QD の高次プラズマ励起の様相を、QD 上に配置した単一電子トランジスタのコンダクタンスの変化として測定した。

茶園は同時多色蛍光 1 分子観察技術を開発し、複数種類のタンパク質分子間の相互作用をリアルタイムイメージングすることにより、生体の情報伝達機構を 1 分子レベルで解明することをめざす。例えば、生体分子モーターのメカニクスとキネティクスを同時イメージングし、その作動原理の解析を行う。

2. 平成 24 年度の進捗と成果

鈴木は結晶性のニッケル (長軸に [100]・側面に [110] 面) を直径 10~80 nm・長さ 100~800 nm の高アスペクト比で内包したカーボンナノチューブが、外側に 3~50 層のグラフェンとして巻付いて成長することを確認し、成長の機構を明らかにすると同時に、高密度化に成功した。また、合金

において層状構造の金属内包を確認した。更に、リンをドーピングした n 型カーボンナノファイバーやダイヤモンド状炭素ナノ薄膜にガリウムイオンを集束させて注入することにより p 型化してダイオードを作成した。TiO₂ に La と Sr・Ba・Ca 等をドーピングし可視光での水分解反応による水素発生と水素発生効率を改善し、軽量で安価な高分子フィルムの上にレーザー誘起前方転写 (LIFT; Laser Induced Forward Transfer) 法で成膜することに成功した。高野と共同で超電導材料 LaOFeAs を成膜した。低温のフレッシュプラズマジェットを用いて物質応用化学科の伊掛先生と高分子の配向制御に関する研究を、歯学部：関・中田・紙本・廣瀬・升谷先生との共同研究で歯周病細菌の殺菌に関する研究を行った。自由電子レーザーの照射によるヤマトヒメミズやアブラミミズの破片分離と再生・分化及びレーザー誘起プラズマ分光による土壌の成分分析に関する研究を開始した。加えて、レーザーと集束イオンビーム加工でナノノズルを圧電素子に穿孔させることにより、ナノ・マイクロバブルの粒径制御に成功し、特許を出願した。

高野は Sr_{1-x}R_xFeAsF (R=rare earth) において R=Nd による置換を試み、これまで知られている R=Sm と同程度の高温超伝導を見出してきており、これらの試料の単相化を試みているが、完全な単相試料は得られていない。一方、同様の電子ドーピングを促すフッ素欠陥した SrFeAsF_{1-y} を作製し超伝導の可能性を調べたが、金属的な電気伝導が得られたものの、超伝導は得られなかった。しかし、超伝導発現に最適ドーピングした Sr_{1-x}R_xFeAsF_{1-y} においてフッ素欠損量 y による超伝導転移温度の低下が希土類元素の種類によらないことを示した。また、鉄系超伝導体の線材応用への可能性を探るため、トランポートによる上部臨界磁場の評価を行い、従来までの金属系超伝導体に代わる候補物質である MgB₂ を上回る結果を得た。

浅井は磁化同軸プラズマガン (MCPG) や逆磁場テータピンチ法 (FRTP) により生成される磁化プラズモイドの特性の理解と応用を目指して研究を進めてきた。24 年度は、本プロジェクトにおいて電気工学科鈴木薫教授、物質応用科学科西宮伸幸教授と共同で提案し開発を進めて来た、MCPG を用いた高融点金属の合金薄膜生成法について実用化の目処がたち、その手法について NUBIC を通して出願した (名称: 合金薄膜生成装置, 発明者: 浅井朋彦, 鈴木 薫, 西宮伸幸, 高津幹夫, 出願日: 2012 年 9 月 6 日, 出願番号: 特願 2012-195690)。また、同手法の歯科材料への応用に関する基礎実験を開始した。また、大気圧 LF ジェットの医療応用について医療班との検討を進め、癌腫治療のための基礎実験用の大気圧プラズマ装置を開発、実験を開始した。更に、自己組織化するプラズモイドの特性について理解を深めるため、船橋校舎・物理実験 A 棟において、磁化プラズモイドの超アルヴェン速度移送実験装置の開発を進めていたが、本年度 12 月に初期プラズマの生成に成功、実験を開始した。この実験は、計画に示したミュオン触媒核融合の新規炉心シナリオの原理検証のための基礎実験への利用も予定しており、年度中の核融合炉心システムの概念設計の完了を目指した作業を進めている。またこれに関連して、同分野の研究を共同で進めている米国 TriAlpha Energy 社、高エネルギー加速器研究機構などと合同で、2013 年 2 月にシンポジウムを開催する予定である。

岩田は [ABO₃/REMO₃] (A=Ca, La, B=Fe, Mn, RE=La, Bi, M=Fe, Fe_{0.8}Mn_{0.2}) 人工超格子 (9 種類) をパルスレーザー堆積 (PLD) 法で作製した。オランダ・トゥエンテ大学および 極限追求系・エネルギー班・班長・橋本拓也教授との共同研究により原子レベル制御の精度および再現性が飛躍的に向上した。XRD 回折により明瞭な超格子反射およびラウエ振動を確認し清浄な超格子界面が形成されていること、逆格子マップにより Cubu-on-Cube 成長を確認した。人工超格子に関するシート抵抗の温度依存性は、CaMnO₃ (CMO) 系超格子、LaMnO₃ (LMO) 系超格子共に半導体的性質を示した。いずれも、CMO 単層膜、LMO 単層膜の活性化エネルギーより小さな値を示した。界面での電子移動、元素拡散、結晶歪みによるバンド構造の変化を示唆する結果を得た。また、活性化エネルギーが変化し磁気的な相転移を示唆する結果を得た。関連する研究成果が認められ、米国・日本において材料・デバイスに関する最も大きな学会が主催するジョイントシンポジウム (JSAP-MRS@サンフランシスコ) のオーガナイザーを 2012 年 4 月に務め、2013 年 9 月にも引き続きオーガナイザーを務めることとなった。また、2013 年 1 月 2-5 に開催された OMTAT 国際会議 (コーチン・インド) において招待講演を行った。また、サファイア基板上の Cr₂O₃ 薄膜の結晶成長をまとめた論文を Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012) 11PG12-1~9 (9 pages) において発表した。この薄膜に関する反強磁性ドメインをフェムト秒レーザーを用いた第二次高調波 (SHG) 観測によって行った (ETH チューリッヒ連邦大学・スイスとの共同研究)。ネール温度がバルク同

様 307K であることを確認した。SHG による Cr2O3 薄膜の反強磁性ドメイン観察は世界初である。一方、基板ヒーターの改良によって、SWNT の品質を示す指標となる G/D 比が 30 から約 400 まで大幅な改善が見られた。

羽柴は測定により観測した QD の基底状態、1 次励起状態、2 次励起状態、3 次励起状態は、高次励起状態ほどその頻度と励起時間の積算が少なくなっている。励起時間は電子のトンネル時間のみの項目で説明でき、プラズマ励起のフォノンへの緩和を示すものはないことを明らかにした。これら高次励起状態は、入射光子数が多くとも断熱された QD 内では、十分高速な測定系によって高次プラズマ励起を単一光子単位で測定可能な事を示した。

茶園はミオシン（筋肉の中の生体分子モーター）フィラメント上をアクチンフィラメントが滑っている時の ATP 分解キネティクスを蛍光 ATP と Caged-ATP を使うことによって明らかにした。再構成運動系において、メカニクス（力学）とキネティクス（化学）を同時に測ることに成功した。

十代は生体内で多くみられる螺旋物質をナノ工学による自己組織化で得ることに挑戦している。銀トリルアセチリド分子がナノ螺旋構造へと結晶成長することを見出したが、単結晶構造解析が可能な大きなサイズの単結晶を得るには至っていない。また、金属クラスターの生成方法の開拓にも取り組み、電気化学測定が行えるようになった。

3. 平成 24 年度の班としての活動

各々のグループで打ち合わせや試料の提供を行い、第一に 鉄砒素系超伝導体バルクを薄膜で結晶化することに成功した。また、カーボンナノチューブのデバイス化や水素と酸素の発生・吸蔵・放出過程の制御及びカラーフォトメモリー物質と 細胞膜受容体タンパク質の高速イメージングにおいて共同して研究を行い成果が得られた。

羽柴は大月先生との共同研究「分子モーターの電場制御とその測定方法」についての具体的な打ち合わせを 1 度行った。井上先生と共同で「コロイダル量子ドットの単一光子源」についての打ち合わせを数度行っている。

茶園は 大月先生との共同研究「ペニレン誘導体単一分子の配向検出」のために、2 偏光分岐光学系を組み立て、予備実験としてモーター蛋白 1 分子の回転を検出した。

量子理論・計算班

石田浩, 大貫進一郎, 佐甲徳栄*, 山崎恆樹

1. 平成 24 年度の計画の概略

(1-1, 石田) 金属電極を架橋する単一分子, 原子鎖を含むナノ接合系の電子構造や電気伝導に対する, 分子内の強電子相関の効果を, 厳密対角化法を用いた Green 関数の計算により明らかにする. (1-2, 佐甲) 自然原子・人工原子における共役フェルミ孔の構造と励起状態における電子構造の関係を解明し, 閉じ込めポテンシャルの違いによる電子物性の特質を明らかにする. (1-3a, 大貫) 平成 23 年度に開発したマルチスケール電磁界シミュレーション法を用いて, 情報班の光直接記録の高密度化に向けた, プラズモニックアンテナと粒子記録媒体の相互作用の解明を行う. (1-3b, 大貫) マックスウェル-シュレディンガー混合数値解析法を確立する. (1-4, 山崎) フォトニック結晶導波路内の光閉じ込め効果を制御する誘電体形状の最適化ならびに超分子・自己組織班のフォトニック導波路のモデル化して伝搬特性を解明し, 解析モデルの正当性と有効性を得る.

2. 平成 24 年度の進捗と成果

(1-1, 石田) 金属電極を架橋する単一分子のモデルとして「 N サイト Hubbard 分子」を考え, この分子の温度 T , バイアス電圧 0 極限での電子構造を, 有限温度 Green 関数を計算することによって調べた. 電極のゲート電圧を変化させ, 分子内の電子占有数を変化させた場合について, 化学ポテンシャル付近の一電子状態密度の温度変化を調べた. その結果, 温度が低下すると近藤共鳴準位が出現し, Coulomb ブロッキングによる擬エネルギーギャップが消失する様相が明らかとなった (Phys. Rev. B, 2012). また, 本計算手法は, 吸着単一分子の電子構造を, バリスティック伝導領域, Coulomb ブロッキング領域, 近藤領域を含めて, 広いパラメータ範囲で電子相関の効果を考慮して計算することが可能であることが示された.

(1-2, 佐甲) 本年度は, 前年に本 N.研究プロジェクトの成果として見出した, 「共役フェルミ孔(*conjugate Fermi hole*)」と呼ばれる, 反平行スピンを持つ二電子間に普遍的に存在する波動関数の空孔に着目し, 重要なナノ物質の一つである人工原子 (量子ドット) について, この共役フェルミ孔の構造を詳しく調べた. その結果, 人工原子についてフントの第一規則が成り立つ起源を明らかにするとともに, 通常自然原子においてフントの第一規則が成り立つメカニズムとの違いを明らかにした (J. Phys. B, 2012).

(1-3a, 大貫) 光直接記録に向けたプラズモニックアンテナと粒子媒体の設計光直接記録方式による超高密度磁気記録の実現に向け, 局所的な円偏光を高効率に生成できるプラズモニックアンテナと多数の粒子で構成される記録媒体を設計した. 電磁界解析法の一つである ADE-FDTD 法により, プラズモニックアンテナの組み合わせに対する円偏光の生成時間と電界強度の関係を明らかにした.

(1-3b, 大貫) FDTD 法に基づくマックスウェル-シュレディンガー混合数値解析法により, レーザ場中におけるナノプレートのマルチフィジックス解析を行った. ポテンシャルの井戸構造に起因するトンネル効果が, プレート内の電流密度および近傍の電磁界に与える影響を検討し, 本手法の有用性を古典的な解析法と比較することで明らかにした.

(1-4, 山崎) 中空導波路外に欠陥構造を設け, この欠陥構造内に電磁エネルギーを多く取り込むための制御用として, 導波内に変形ひし形誘電体を内蔵したモデルを考案した. 入射偏波も考慮して解析を行った結果, 制御用としての最適誘電体形状は, 円柱形状や三角柱形状よりもひし形形状の方がエネルギーを集中出来る事が示された.

3. 平成 24 年度の班としての活動

毎月 1 回の頻度で大貫准教授の研究室をベースとして, 情報班の中川教授および芦澤助手と合同で勉強会を開催した.