

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

研究進捗状況報告書の概要

1 研究プロジェクト

| | | | |
|-----------|-------------------------------------|-----|--------|
| 学校法人名 | トヨタ学園 | 大学名 | 豊田工業大学 |
| 研究プロジェクト名 | マイクロ・メソ構造制御による革新的グリーン電子素子・材料技術の基盤形成 | | |
| 研究観点 | 研究拠点を形成する研究 | | |

2 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

【目的】 熱電素子などエネルギー変換素子・材料を軸に、新構造の可能性を示すとともに、界面や電極構造の制御を通じ、電子流をより良く制御し、電力損失の低減法の向上と新機能の実現を目的としている。

【意義】 世界的に資源とエネルギーの確保は厳しさを増しており、我国を始め、先進国にはエネルギー消費の低減と利用効率の向上のための革新技術の開発が喫緊の課題となっている。特に、エネルギー変換機器や素子の効率向上、未利用エネルギーの活用、大量に使われるIT機器などの電力消費の大幅低減などが不可欠である。これらの機器・素子・材料の多くでは、動作原理や損失要因が、それらの材料や素子のマイクロおよびメソスケールでの構造によって決定されており、そうした構造を刷新すれば、電子物性、光学物性、熱的物性なども変わり、より優れた特性や機能を持つ材料や素子を実現できる可能性があり、この研究により新たな展望を開く。

【計画の概要】 基盤技術としての構造制御、そして具体的なテーマとしてエネルギー変換素子・材料の開発と界面・電極構造制御による素子の電力損失の低減を目指している。これらを組み合わせ、スパイラルアップで取り進めている。

I. エネルギー関連素子・材料の性能向上のためのマイクロ・メソ構造制御技術の確立

本研究で取組む熱電素子では、Siを基体にMnやAlを加えた合金相の構造を、原子スケールでマイクロに制御する必要がある。また、ナノ構造中の量子準位を用いた光電材料では、10nm オーダで組成と形状の制御を必要とする。このように、所望の機能や性能の実現のために、マイクロおよびメソスケールでの構造制御技術の確立を図る。

II A. 先進エネルギー変換素子・材料の開発

熱電素子は長い歴史を持つが、実用面ではBiTe系に限られている。本チームの竹内は、SiMnAl系合金がBiTeに迫る特性を持つことを発見しており、特性の改良次第で本命となる可能性も持つ。本研究では、熱流の制御も含め、特性向上を目指す。また、ナノ細線やナノアイランド構造など量子構造の持つ特異な光物性を活かした光電変換素子の研究を進め、変換効率や検出効率の向上可能性を示す。

II B. 界面・電極構造制御による素子の電力損失の低減

多くの素子では、電極部の抵抗が、電力損失を増大させ、信頼性を低下させる。そこで界面・電極構造を制御し、界面を通過する電子流による損失の低減を図る。特に、大電流を流すGa₂N系パワー素子への電極技術や電極形成が容易でないグラフェンに対する

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

電極技術などの確立を図る。

[年次計画概要]

- 1 年目: 従来の熱電変換素子や光電変換素子の研究と界面・電極構造に関する取組みを再整理し、開発すべき新素子の設計、関連の基礎実験を行う。また、電子状態計測用 XPS 装置などの新規設備の設置・稼働を図る。
- 2 年目: 開発すべき素子の設計に基づき、素子・材料中のミクロ・メソ構造制御の実験を進め、評価する。
- 3 年目: 新規の熱電変換素子や光電素子、制御された界面・電極構造等の試作を進め、初期的評価を行う。
- 4 年目: 前年度の試作・評価結果を基に、素子や構造の再設計・再試作を行い、性能・機能の改良を行う。
- 5 年目: 試作した熱電素子・光電変換素子・新規界面・電極構造などの総合評価を行い、変換効率の向上や損失の低減の達成度を明らかにする。得られた知見に基づき、さらなる機能・性能向上の方向性を示す。

3 研究プロジェクトの進捗及び成果の概要

上述の計画に従い、研究を進めており、個別に凹凸はあるが、全体としては計画通り、若しくはそれ以上に進捗していると考えられる。

【先進エネルギー変換素子・材料 - 熱電材料、熱ダイオード, 熱スイッチ】

熱電物性を電子構造とフォノン分散の観点から定量的に解析することにより、高性能熱電材料を得るための条件の絞り込みを行った。得られた知見を用いて、容易に利用可能な材料設計指針を構築し、学会、論文等において発表した。提案した指針と電子構造計算を併用することで、実用化の目安とされる性能 ($ZT > 1$) を示す材料群を選定した。また、選定した材料を用いて、実際に、 $ZT > 1$ を得ることに成功した。

固体熱ダイオードについては、300Kと900Kの熱浴に挟み込んだ際に、世界最高の熱整流比 $TRR = J_1/J_2 > 2.2$ を示す材料の開発に成功した。さらに、110°C付近において熱浴間の温度差を僅かに15Kに設定した際に、 $TRR = 1.95$ を示す熱ダイオードの開発にも成功した。

熱スイッチ材料については、新しい機構を提案するとともに、機械的な要素なしに、熱流を変化させることに成功した。ただし、現状では、熱流の変化率は10%以下であることから、100%を超える変化率を示すための素子作りを行っている。

【界面・電極制御による電力損失の低減 - 界面制御磁性メモリ】

希土類・遷移金属磁性膜/Pt ヘテロ構造からなる磁性細線に電流を注入し、ヘテロ界面に由来するジャロシンスキー守谷相互作用は界面だけに生じ、スピンホール効果は希土類・遷移金属磁性膜の奥深くまで作用することが分かった。この結果、磁性膜を厚くしてもスピンホール効果が利用でき、応用を考えても有望な技術である事が期待される。

【界面・電極制御による電力損失の低減 - 光電・電光変換素子】

1) トンネル接合による光素子の高効率化

結晶シリコンを用いた太陽電池の高効率化の一つの方法として、シリコン結晶と電極材料との間に薄いシリコン酸化膜を挿入した構造が期待されている。本酸化膜は数 nm の厚さ

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

であり、電子はトンネル現象によりシリコンと電極との間を輸送される。シリコン結晶とシリコン酸化膜界面においては、光照射により生成した少数キャリアが再結合する準位の数少なく低い再結合速度が実現される。その結果、高い開放電圧が期待される。また、電極材料の仕事関数を制御することにより、pn接合を形成することなく太陽電池としての動作が期待される。しかし、実際に本構造を作製しても、期待される変換効率を実現されないことが多い。これは、膜堆積プロセスに起因してシリコン結晶、あるいはシリコン結晶と酸化膜の界面に結晶欠陥が形成されていることが考えられる。加えて、酸化膜界面近傍における電極材料の仕事関数がバルクの値と異なる可能性もある。

本研究では、電極堆積プロセス等が原因でシリコン/シリコン酸化膜界面に形成された再結合中心として働く欠陥ならびに、界面近傍における電極材料の仕事関数を、電気容量-電圧測定から明らかにすることを試みた。評価デバイスの構造はMOS型とした。高周波および低周波交流を印可し、直流電圧とその時の電気容量を測定した。その結果、プロセスに起因する欠陥からの信号を得た。熱処理条件と欠陥起因の信号強度との関係から、本欠陥の熱安定性を考察した。また、界面近傍における電極材料の仕事関数が、期待される値と異なることを明らかにした。今後は、電極材料、その膜堆積方法と界面欠陥、仕事関数との関係を系統的に調べ、本構造による高効率結晶シリコン太陽電池の実現を目指す。

2) 層状化合物半導体を中間層に用いた GaAs/Si 光素子の高効率化

高効率Ⅲ-V族化合物半導体光素子(GaAs等)の低コスト化において、高効率 GaAs/Si モノリシック光素子の実現が期待されている。しかし、GaAs/Si間の大きな格子不整合率と熱膨張係数差により、Si上に成膜したGaAs層に $10^6 \sim 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 以上の密度で転位が発生し、キャリアの再結合により電力損失の要因になっている。本研究では、 In_2Se_3 層状化合物半導体をGaAs/Si間に中間層として挟むことにより、Si上に成膜したGaAs層の転位密度低減をはかることを目指して研究を行った。 In_2Se_3 層状化合物のファンデルワールス(vdW)界面が格子不整合、熱膨張係数差により生じる歪を有効に緩和することが期待できる。

本研究では特に、成膜基板に微傾斜基板を使用して、表面の原子ステップが In_2Se_3 の成膜に与える影響を検討した。 In_2Se_3 は、様々な多形構造が存在するため、単一相でのエピタキシャル成膜が困難であるが、GaAs(111)基板、およびSi(111)基板上で、微傾斜基板を採用することにより、 $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ 層状化合物の単一相でのエピタキシャル成膜に成功した。また、成膜した $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ 層状化合物上に、GaAs膜をエピタキシャル成長することにも成功している。しかし、GaAs層の成膜中に、 $\text{In}_2\text{Se}_3/\text{GaAs}$ 界面での固相拡散による In_2Se_3 の構造変化が観測された。今後、 $\text{In}_2\text{Se}_3/\text{GaAs}$ 界面での固相拡散の抑制が必要である。

3) 光センサの開発

近赤外域(NIR: $1 \sim 2 \mu\text{m}$)における高感度光センサ実現のため、三角障壁フォトランジスタ(TBP)と呼ばれる光増倍型の素子を分子線エピタキシー(MBE)法とフォトリソグラフィー技術を用いて試作した。これまでに、波長 $1.7 \mu\text{m}$ まで感度を持つInGaAs TBPセンサにおいて、受光感度4A/W程度の性能を達成した。加えて、TBPとCMOS読み出し回路とを組み合わせたアレーセンサの試作も進め、128画素のリニアアレー素子を用いたイメージスキャンも実現した。

4) GaN デバイスの開発

Si基板上に形成したAlGaN/GaN高電子移動度トランジスタ(HEMT)の作製プロセスの研究を進めた。低接触抵抗なオーミック電極を開発するとともに、原子層堆積法による表面安定化保護膜を実現し、高電流と高耐圧特性を同時に達成した。特に、SiN膜を原子層堆積法(ALD)で形成する前に、HEMTの表面をHClで処理することにより、最も良好な素子特性を得た。

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

ワイドバンドギャップ半導体であるAlGaNのpn接合をSi上に形成し、デバイス応用の研究を進めた(立命館大学との共同研究)。このpn接合エピタキシャルウエハを用いてフォトダイオードを試作し、深紫外域での光応答特性を測定評価した。

5) InAs系量子構造の構造制御と界面

既に量子井戸島(QWI)と呼ばれる構造で光の短波長変換(UC)を実現させたが、効率が低い事と構造の作製が難しい事が課題として残っている。そこで、MBEによる結晶成長条件の検討、また構造の改良を試みた。

InAs量子ドットにより1.7 μ m超えの長波長発光を実現させた。素子の改善を試みている。

KFMによる表面InAs量子ドットの計測より、ドット周辺にポテンシャルの凹みがある事を見出した。継続検討している。

【界面・電極制御による電力損失の低減 -有機電子素子】

1) グラフェンの大面積合成及び電子デバイスへの応用検討

大気圧化学気相成長法(CVD)を用いて、銅基板上へのミリメートルスケールのグラフェン合成とFET素子を試作した。グラフェンの大面積化成長のためには、基板表面の精密な構造制御による核生成の抑制が必要である。今回、グラフェン成長直前に基板表面に極薄酸化膜を形成することにより大面積化が可能であることを見出した。また、ラマン分光やプローブ顕微鏡(SPM)を用いて、グラフェン転写を行うFET基板である酸化シリコンの表面処理法を検討し、酸素プラズマ処理が最適であることを見出した。

2) 探針増強ラマンによるナノカーボン材料の評価

ナノカーボン(NC)材料は次世代のセンサや電子デバイスとして期待されているが、表面の欠陥などの局所構造が特性に影響を与える。探針増強ラマン法は、探針先端に誘起されたプラズモン電場を利用した新しいラマン散乱分光法であり、ナノスケールでの空間分解能を有する。今回、自作探針を用いて、酸化グラフェンの構造評価を行い、単層及び二層グラフェンのナノスケールでの構造観察に成功し、ラマン強度の層数依存性を明らかにした。

【界面・電極制御による電力損失の低減 -界面改質プロセス:YAG セラミックス作製】

当初計画には無かったテーマであるが、 $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG)セラミックスの配向構造制御を実現するための基礎的研究に取り組んだ。

励起に伴い媒質中で生じる熱誘起複屈折はデポラリゼーションを引き起こすため、固体レーザーの高出力・高効率化、高品質化を図る上で深刻な問題であり、その低減が望まれる。典型的な固体レーザー媒質の母材であるYAG単結晶では、デポラリゼーションがロッドの軸方位に依存し、方位によっては一般的な(111)カットのロッドよりも小さくなることが報告されている。一方、組成自由度、不均一性やコストなどの観点から単結晶と同等な性能を有するYAG多結晶セラミックスの開発が進められているが、構成粒子の結晶方位がランダムなものに限られている。本研究では、Reactive-Templated Grain Growth (RTGG)法による結晶配向性制御を通じた異方性YAGセラミックスの実現を目的としている。これまでの基礎的検討の中で、反応性テンプレートとしてのサファイア(0001)面基板上に化学溶液法を用いて成膜した{111}配向 Y_2O_3 薄膜の加熱処理により、[211]優先配向YAG薄膜が得られることを明らかにした。また、その際の結晶相遷移過程、結晶方位継承過程、および結晶配向性発現の原因を明らかにした。

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

**平成26年度選定「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」
研究進捗状況報告書**

1 学校法人名 トヨタ学園 2 大学名 豊田工業大学

3 研究組織名 グリーン電子素子・材料研究センター

4 プロジェクト所在地 名古屋市天白区久方2-12-1 豊田工業大学内

5 研究プロジェクト名 マイクロ・メソ構造制御による革新的グリーン電子素子・材料技術の
基盤形成

6 研究観点 研究拠点を形成する研究

7 研究代表者

| 研究代表者名 | 所属部局名 | 職名 |
|--------|----------|----|
| 神谷 格 | 大学院工学研究科 | 教授 |

8 プロジェクト参加研究者数 11 名

9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

| 研究者名 | 所属・職名 | プロジェクトでの研究課題 | プロジェクトでの役割 |
|-------|----------------------|--|--|
| 神谷 格 | 大学院 工学研究科 ・教授 | ・先進的電極界面構造の開発・ 制御 ・歪制御半導体の光電変換素子 応用 | ・統括 ・電極の革新・低損失化 ・歪制御・光電素子開拓 |
| 竹内 恒博 | 大学院 工学研究科 ・教授 | ・熱電材料、熱ダイオード | ・革新的熱電素子の開拓 ・電子機構の解明 |
| 松波 雅治 | 大学院 工学研究科 ・准教授 | ・熱電材料、熱ダイオード | ・革新的熱電素子の開拓 ・熱電特性と電子間相互作用 の関係の解明 |
| 栗野 博之 | 大学院 工学研究科 ・教授 | ・低消費電力磁性記録素子 | ・超低消費電力メモリの開 拓 |
| 吉村 雅満 | 大学院 工学研究科 ・教授 | ・先進的電極界面構造の開発・ 制御 | ・ナノカーボン利用素子技術 の確立 |
| 原 正則 | 大学院 工学研究科 ・准教授 | ・先進的電極界面構造の開発・ 制御 | ・界面評価 ・新規電極開発 |
| 荒川 修一 | 大学院 工学研究科 ・助教 | ・界面構造制御と応用 | ・新規プロセスによる素子作 製法開拓 |

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

| | | | |
|-------|---------------------|---------------------------------------|---|
| 岩田 直高 | 大学院 工学研究科 ・教授 | ・ワイドギャップ素子の電極、物 性と低損失化 ・紫外線受光素子 | ・ワイドギャップ素子の低損 失化と機能拡大 ・電極の革新と低損失化 |
| 大下 祥雄 | 大学院 工学研究科 ・教授 | ・先進的電極界面構造の制御 ・歪制御半導体の光電変換素子 応用 | ・電極の革新と低損失化 ・歪制御・光電素子開拓 |
| 小島 伸晃 | 大学院 工学研究科 ・助教 | ・先進的電極界面構造の制御 ・歪制御半導体の光電変換素子 応用 | ・電極の革新と低損失化 ・歪制御・光電素子開拓 |
| 榊 裕之 | 大学院 工学研究科 ・学長 | ・量子構造光電素子 | 新規量子構造を用いた受光 素子の実現 |

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

新

| 変更前の所属・職名 | 変更(就任)後の所属・職名 | 研究者氏名 | プロジェクトでの役割 |
|-----------|------------------|-------|-----------------------|
| 分子研・研究員 | 大学院工学研究科 ・准教授 | 松波 雅治 | 新規量子構造を用いた 受光素子の実現 |

(変更の時期:平成27年 6月 1日)

新

| 変更前の所属・職名 | 変更(就任)後の所属・職名 | 研究者氏名 | プロジェクトでの役割 |
|-----------|------------------|-------|-----------------------|
| 山梨大学・特任助教 | 大学院工学研究科 ・准教授 | 原 正則 | 新規量子構造を用いた 受光素子の実現 |

(変更の時期:平成28年 4月 1日)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

11 研究進捗状況(※ 5枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

【目的】 熱電素子などエネルギー変換素子・材料を軸に、新構造の可能性を示すと共に、界面や電極構造で、電子流をより良く制御し、電力損失の低減法の向上と新機能の実現。

【意義】 エネルギー変換機器や素子の効率向上、未利用エネルギーの活用、大量に使われるIT機器等の電力消費の大幅低減等が不可欠。 エネルギー損失はそれらの材料や素子のマイクロ乃至メソスケールでの構造によって決定されており、そうした構造を刷新し、電子・光学・熱的物性も変え、より優れた特性や機能を持つ材料や素子実現の展望を開く。

【計画の概要】 基盤技術としての構造制御、そして具体的なテーマとしてエネルギー変換素子・材料の開発と界面・電極構造制御による素子の電力損失の低減を目指している。 これらを組み合わせ、スパイラルアップで取り進めている。

(2) 研究組織

物質・材料科学分野の6名と電子・情報工学分野の5名(当初4名)の教員が「グリーン電子素子・材料研究センター」を形成し、これらに加え、学内外の関連する他の教員から適宜協力を得ている。 各テーマ担当教員指導の下、延べ50名程度の博士研究員(PD)や学生・院生が研究に参加。 研究センター全体としてのシナジーを持たせるべく、年に数回、若手研究員による研究紹介等を行っている。 施設は、参加教員の保有施設の相互利用の他、本学の「共同利用クリーンルーム」を積極利用している。

外部評価委員としては、企業からは豊田中研の竹田康彦氏、また、アカデミアからは NIMS (MANA)の青野正和氏にお願いし、適宜ご助言頂いている。

(3) 研究施設・設備等

X線光電子分光装置 アルバックファイ社 PHI5000 VersaProbeTI

原子層堆積装置: Fiji F200

半導体エッチング装置: RIE-101iPH

全自動多目的X線回折装置 ブルカー・エイエックエス社: D8 Advance TKT

熱拡散率測定装置 NETZSCH 社: LFA 457 MicroFlash

熱電物性測定装置用ヘリウム再凝縮デューワー カンタム・デザイン社: P935(A)SR

磁化率測定装置: カンタム・デザイン社: P525SR

フローティング型アルゴンイオン銃: 04-370Z

エキシマーレーザ: ExciStarXS-500-ArF

PL マッピング装置: PL-SMAP-RT100

(4) 進捗状況・研究成果等 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

【先進エネルギー変換素子・材料 - 熱電材料、熱ダイオード、熱スイッチ】

<現在までの進捗状況及び達成度>

熱電物性を電子構造とフォノン分散の観点から定量的に解析し、高性能熱電材料を得る条件を検討し、容易に利用可能な材料設計指針を構築し、論文等で発表。 提案した指針と電子構造計算の併用で、実用化相当の性能($ZT > 1$)を示す材料群を選定、実証した。

固体熱ダイオード *¹では、300K と 900K の熱浴で挟んだ際、世界最高の熱整流比 $TRR = J_1/J_2 > 2.2$ を示す材料を開発した。 更に 110°C付近で熱浴間の温度差が僅か 15K で、 $TRR = 1.95$ を示す熱ダイオードの開発にも成功した。

熱スイッチ材料では、新しい機構を提案し機械的な要素なしに熱流を変化させる事に成功したが、現状熱流の変化率はまだ低く、10%を超える素子作りを行っている。

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

＜特に優れた研究成果＞

作製した熱電材料は主に MnとSiから成り安価で無害^{*2}。熱電材料利用には同程度の熱膨張計係数を有するn型とp型が必要だが本研究で同じ合金系においてキャリア濃度を調整し、ZT > 1のp型材料^{*3}と、ZT > 0.8のn型材料^{*4}の創製に成功し、得られた熱ダイオードは世界最高性能を呈示、動作温度調整にも成功。実用化へ向け高性能化を進めている。

熱スイッチ材料では新考案の動作原理により熱流の大きさの制御を実証。性能向上へ向け問題点の改良を進めており10%を超える熱流変化を実現させ実用化が期待できる。

＜問題点とその克服方法＞

高性能で安価な熱電材料の実用には作製コストの低減が不可欠。性能を発揮する温度が現状 400℃～500℃で 100～200℃へ低下が必要。動作温度領域は電子構造で決まるため、同じ材料での改善でなく、電子構造から低温動作材料の再選定が必要。

熱ダイオードはまだ評価基準が実用的な条件と一致していない。が、従来の評価基準を用いて高性能と評価される材料では、実用的条件下でも良い性能を示すので、当面従来基準を用いて開発を進める。併行して、実用条件に近い評価方法を確立する必要がある。

熱スイッチは、性能改善のため、新素子構造と新測定手法を導入している。

＜研究成果の副次的効果(実用化や特許の申請など研究成果の活用の見通しを含む。)＞

熱電材料の研究は、複数企業との共同研究に発展。特許は4件申請済み、引き続き申請見込み。これら企業と実用的素子の作製、そして JST NexTep 等への応募を検討中。

熱ダイオード・スイッチ材料には複数の企業が興味を示しているが、共同研究には、実用化に耐える性能が必要である。本研究の独創性に鑑み、JST CREST 等への応募を計画。

＜今後の研究方針＞

各々の材料に対する設計指針と、それを用いた開発の妥当性は、上述の研究により証明された。今後は、事例を増やし指針の信頼性を高め、実用素子の試作にも発展させる。

【界面・電極制御による電力損失の低減 - 界面制御磁性メモリ】

＜現在までの進捗状況及び達成度＞

希土類・遷移金属磁性膜/Pt ヘテロ構造からなる磁性細線に電流を注入し、ヘテロ界面に由来するジャロシンスキー守谷相互作用は界面だけに生じ、スピホール効果は希土類・遷移金属磁性膜の奥深くまで作用する^{*5}ことが分かった。

＜特に優れた研究成果＞

従来、スピン軌道トルクはヘテロ界面にのみ生ずる現象で、磁気ボリュームを必要とする磁気センサの応用展開には不向きと考えられていたが、磁性膜を厚くしても大きなスピホール効果が利用できる事を見出し、スピン軌道トルク効果の応用展開上有望である。

＜問題点とその克服方法＞

本成果の原因は、希土類と遷移金属の磁気モーメントは互いに逆向きに磁気結合するフェリ磁性体であることが考えられ、説明可能なモデルを提案した。

＜今後の研究方針・研究成果の副次的効果＞

上記モデル検証のための実験を重ねて、物理現象の理解に努める。

【界面・電極制御による電力損失の低減 - 光電・電光変換素子】

＜現在までの進捗状況及び達成度＞

1)トンネル接合による光素子の高効率化

結晶 Si 太陽電池高効率化へ向け、電極材料間に数 nm の薄い Si 酸化膜を挿入したトンネル電極構造を検討。Si 結晶/Si 酸化膜界面では光生成少数キャリアの再結合準位数が少なく、低再結合速度・高い開放電圧、また電極材料の仕事関数制御で、pn 接合なしの太陽電

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

池動作が期待されるが実際の素子の効率は低く、欠陥形成や膜界面近傍での電極材料の仕事関数がバルク値と異なるためと考えられる。そこで、Si/Si酸化膜界面の欠陥と界面近傍での電極材料の仕事関数を、MOS型評価素子の電気容量-電圧測定を行い、熱処理条件依存性を考察した。また界面近傍の電極の仕事関数がバルク値と違う事を明らかにした

*6。

2) 層状化合物半導体を中間層に用いた GaAs/Si 光素子の高効率化

高効率Ⅲ-V族半導体光素子のための GaAs/Si モノリシック素子では、GaAs/Si 間の大きな格子不整合・熱膨張係数差により、GaAs 層に $>10^6 \text{cm}^{-2}$ の密度で転位が発生し、キャリア再結合により電力損失が生じる。本研究では In_2Se_3 層状半導体を GaAs/Si 間に中間層として挟み、vdW 界面により生じる歪を緩和させ GaAs 層の転位密度低減を目指した。特に微傾斜基板の影響を検討し、GaAs(111)、Si(111)の微傾斜基板に $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ の単一相 (In_2Se_3 は多形構造)でのエピ成膜、更にこの $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ 上への GaAs エピ成膜にも成功した。*7

3) 光センサの開発

NIR(1~2 μm)の高感度光センサ実現のため、InGaAs TBP 光増倍型素子を MBE とフォトリソで試作、波長 1.7 μm 迄感度を持つ素子で受光感度 $\sim 4\text{A/W}$ を達成*8。また TBP と CMOS 回路兼備のアレーセンサを試作し、128 画素のリニアアレーを用いイメージスキャンも実現。

4) GaN デバイスの開発

Si基板上のAlGaN/GaN HEMTの作製法開拓のため、低接触抵抗なオーミック電極を開発すると共に、ALDによる表面安定化保護膜を実現し、高電流と高耐圧特性を同時に達成した。特に、SiN膜を原子層堆積法で形成する前に、HEMT表面のHCl処理により、良好な素子特性を得た*9。またワイドバンドギャップのAlGaInのpn接合をSi上に形成し、素子応用の研究を進めた。このpn接合でフォトダイオードを試作し深紫外での光応答特性を測定評価。

5) InAs系量子構造の構造制御と界面

既にQWIと呼ばれる構造で光の短波長変換(UC)を実現させたが、低効率と構造作製の難しさが課題。そこで、MBEによる結晶成長条件の検討、また構造の改良を試みた。

InAs量子ドットにより1.7 μm 超えの長波長発光を実現させた*10。素子改善を試みている。

表面InAsドットのKFM計測でドット周辺のポテンシャルの凹みを見出し、機構検討中。

<特に優れた研究成果>

1) 従来法では堆積した電極材料のバルク仕事関数しか得られず、本研究により、実際の太陽電池特性を決める電極材料の界面近傍の仕事関数とプロセス誘起欠陥の情報を得た*6。

2) GaAs/Si 系のヘテロエピ成長に、層状化合物半導体を中間層に用いる手法は既知だが、GaAs と類似した欠損性閃亜鉛鉱構造を有する $\alpha\text{-In}_2\text{Se}_3$ 層状化合物を用いて、実際に世界初で GaAs 膜のエピタキシャル成長に成功*7。

5) 歪制御によりこの分野の長年の課題だった $\lambda > 1.55\mu\text{m}$ の発光を実現させると共に、in situ XRD によりその機構モデルを示した*10。

<問題点とその克服方法>

1) トンネル電極の材料、その膜堆積方法と界面欠陥、仕事関数との関係を系統的に調べ、本構造による高効率結晶 Si 太陽電池の実現を目指す。

2) GaAs 成膜中に、 $\text{In}_2\text{Se}_3/\text{GaAs}$ 界面での固相拡散による In_2Se_3 の構造変化が観測されており、 $\text{In}_2\text{Se}_3/\text{GaAs}$ 界面での固相拡散の抑制を目指す。

5) QWI を介した UC について、AlGaAs を含むと難しい事が判明し、この回避法を検討中。InAs 量子ドットの $>1.55\mu\text{m}$ での発光強度増大と EL 素子を構造改善により試みている。ポテンシャルの凹み発生機構の解明のため、下地構造を工夫した試料を作製している。

<研究成果の副次的効果(実用化や特許の申請など研究成果の活用の見直しを含む。)>

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- 1) 上述の太陽電池特性の界面近傍の新規評価法を利用し、新たな材料の探索やプロセス技術の向上が期待される。
- 2) GaAs/Si 系のヘテロエピ成長に層状化合物を中間層に用い、vdW 界面で劈開し、GaAs エピ層の剥離も可能。より安価な支持基板上への GaAs 薄膜の移載や、flexible GaAs 薄膜素子への応用展開が期待される。
- 5) InAs ドットのポテンシャルの凹みは新規電極作製への転用を検討している。

<今後の研究方針>

- 1) 電極材料、その膜堆積方法と界面欠陥、仕事関数との関係を系統的に調べ、本構造による高効率結晶 Si 太陽電池の実現を目指す。
- 2) GaAs/In₂Se₃/Si 構造界面構造を詳細に調べ、In₂Se₃/GaAs 界面での固相拡散抑制と、GaAs 層の欠陥密度低減を目指す。
- 3) 近赤外域用の三角障壁フォトランジスタの素子設計を見直し、高感度化を目指す。
- 4) 縦型構造の GaN トランジスタの実現に向け、結晶成長・デバイス作製プロセスの研究、特に低抵抗 p-GaN 層と低接触抵抗電極作製技術の開発に注力しつつ、構造の設計を行う。
- 5) 構造工夫による UC の実現、InAs 量子ドットの EL、ポテンシャルの凹みの機構解明。

【界面・電極制御による電力損失の低減 -有機電子素子】

<現在までの進捗状況及び達成度>

1) グラフェンの大面積合成及び電子素子への応用検討^{*11}

大気圧 CVD を用い銅基板上へ mm スケールのグラフェン合成と FET 素子を試作。大面積成長には、基板表面の精密構造制御による核生成の抑制が必要だが、成長直前に基板表面への極薄酸化膜形成で可能である事を発見。ラマン分光や SPM を用い、グラフェン転写を行う酸化 Si (FET 基板) の表面処理法として酸素プラズマ処理が最適である事を見出した。

2) 探針増強ラマンによるナノカーボン (NC) 材料の評価^{*12}

NC 材料は次世代センサや電子素子に期待されているが、表面の欠陥などの局所構造が特性に影響を与える。自作探針を用い、探針先端に誘起されたプラズモン電場を利用した探針増強ラマン散乱分光法で、酸化グラフェンの構造評価を行い、単層及び二層グラフェンのナノスケールでの構造観察に成功し、ラマン強度の層数依存性を明らかにした。

<特に優れた研究成果>

- 1) 多結晶グラフェンでなく、今回初めて大面積グラフェンで FET 素子を試作。多結晶が含む粒界や欠陥等の材料由来の素子劣化要因を排除し、基板のみの影響を明確化できた。
- 2) 信頼できる探針が市販されていない現状において、貴金属蒸着条件を最適化することにより、再現性の高い探針作製技術の開発に繋がった。

<問題点とその克服方法>

- 1) 素子の歩留まり向上のため、酸素プラズマ条件 (パワー、時間) の最適化が必要。
- 2) 現在の探針歩留まりは約 30% であり、さらに歩留まりを上げる必要がある。

<研究成果の副次的効果 (実用化や特許の申請など研究成果の活用の見通しを含む。)>

- 2) 測定可能な自作探針の歩留まり向上を進め、探針の商品化なども検討する。

<今後の研究方針>

- 1) 増強ラマンを用いた大面積グラフェンの局所構造の分析とその高品質化を行う。
- 2) 増強ラマン用探針作製の歩留まり向上に関する研究。

【界面・電極制御による電力損失の低減 -界面改質プロセス: YAG セラミックス作製】

<現在までの進捗状況及び達成度>

固体レーザーの性能低下抑制には、励起時の熱誘起複屈折による脱分極の低減が必要。

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

典型的な母材 YAG 単結晶では、脱分極がロッドの軸方位に依存し、方位によっては(111)カットのロッドより小さい。既存の YAG 多結晶セラミックスは粒子の結晶方位はランダム。ここでは RTGG 法による結晶配向性制御で異方性 YAG を目指し、サファイア(0001)面基板上に化学溶液法で成膜した[111]配向 Y_2O_3 薄膜の加熱処理し[211]優先配向 YAG 薄膜を得^{*13}、その結晶相遷移・方位継承、結晶配向性発現の原因を解明^{*14}。

<特に優れた研究成果>

種々カット面を含むサファイア基板上に薄膜形成し、サファイア(0001)面基板上で[211]優先配向 YAG 薄膜が得られる事を明らかにした^{*13}。 Y_2O_3 から YAG への相変化は主に準安定六方晶 $YAIO_3$ (YAH)相を経由し、この準安定 YAH 相が強く優先配向する事を発見^{*13}。

X線を用い、 Y_2O_3 薄膜は[111]自己配向だが YAG の[211]優先配向はエピ成長による事、またサファイア基板と YAG 薄膜との間の結晶方位関係を検討し、YAH 相の結晶配向性はサファイア面に依存せず、 Y_2O_3 の[111]自己配向を継承する事を見出した^{*14}。

<問題点とその克服方法>

RTGG 法による異方性 YAG セラミックスの合成には、多くのプロセスパラメータの最適化が必要。他のパラメータの考慮を排除すべく、異方性粒子を単結晶性基板とみなし、その上に薄膜を形成して配向結晶の形成を確認する事で、最重要課題の異方性粒子の選択に目途が立った。C面が露出したアルミナの板状粒子が適切と考えられ、今後実施していく。

<研究成果の副次的効果(実用化や特許の申請など研究成果の活用の見直しを含む。)>

異方性原料粒子の選択に単結晶基板上に配向性薄膜を形成して検討を進めた本手法は、RTGG 法による異方性セラミックスの合成を新規な系に展開する際にも適用可能である。

<今後の研究方針>

YAG の[211]優先配向薄膜は得られたが、非単結晶なので結晶配向性向上のため、 Y_2O_3 自己配向膜の単結晶化を検討し、YAG 相の形成と多結晶セラミックス作製への展開を図る。

<今後期待される研究成果>

- ・安価で既存材料の性能を凌駕、かつ環境に優しい熱電材料の開発。ZT > 4 の材料が得られれば、自動車等移動体への搭載等、省エネルギーの基礎技術として広く応用可能。
- ・十分な性能の熱ダイオードや熱スイッチを得て、熱マネージメントの基礎として展開させる。
- ・磁性体の界面制御でヘテロ構造磁性細線のスピン軌道効果への希土類の影響の解明。
- ・大面積グラフェンを用いた透明電極としての応用展開。
- ・増強ラマン分光による他材料のナノスケール分光への展開。
- ・結晶配向性を向上させた Y_2O_3 薄膜使用による高品位結晶配向性 YAG 薄膜の形成。
- ・近赤外域用の三角障壁フォトトランジスタの素子設計見直しと高感度化。
- ・縦型構造の GaN トランジスタの実現。このため低抵抗 p-GaN 層の実現と低接触抵抗オーミック電極技術の確立。

<自己評価の実施結果及び対応状況>

学内に「グリーン電子素子・材料研究センター」を設置し、定期的に研究方針の策定、予算遂行状況の確認および研究進捗状況の確認などを行っている。また次項とも関連するがプロジェクト全体像を明確にするため、計画と研究遂行の整理を進めている。

<外部(第三者)評価の実施結果及び対応状況>

NIMS(MANA)の青野正和氏と豊田中研の竹田康彦氏に評価を頂いている(添付)。概ね前向きな評価だが、意見交換の中、プロジェクトの視点が分かり難い部分があった可能性が浮上した事に鑑み、明確化する様にプロジェクトの整理を進めている。

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) 熱電材料, 熱電発電 (2) 電子構造・電子物性 (3) フォノン分散・熱伝導評価
 (4) 電極・金属界面 (5) スピン軌道トルク (6) 希土類・遷移金属磁性細線
 (7) 光電・電光変換 (8) 結晶成長

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

【先進エネルギー変換素子・材料 - 熱電材料、熱ダイオード、熱スイッチ】

- T1. "Thermoelectric properties of Al-(Mn,X)-Si C54-phase (X = Ru and Re)," A. Yamamoto, H. Miyazaki, and T. Takeuchi, J. Appl. Phys. 115, 023708 (2014). (*1)
- T2. "Evaluation of the Thermoelectric Module Consisting of W-Doped Heusler Fe₂VAl Alloy," M. Mikami, M. Mizoshiri, K. Ozaki, H. Takazawa, A. Yamamoto, Y. Terazawa, and T. Takeuchi, J. Elec. Mater. 43, 1922-1926 (2014).
- T3. "Fe₂VAl-Based Thermoelectric Thin Films Prepared by a Sputtering Technique," Y. Furuta, K. Kato, T. Miyawaki, H. Asano, and T. Takeuchi, J. Elec. Mater. 43, 2157-2164 (2014).
- T4. "Very large thermal rectification in bulk composites consisting partly of icosahedral quasicrystals," T. Takeuchi, Sci. Technol. Adv. Mater. 15, 064801 (2014). (*1)
- T5. "Thermal Rectification in Bulk Material Through Unusual Behavior of Electron Thermal Conductivity of Al-Cu-Fe Icosahedral Quasicrystal," R. Nakayama and T. Takeuchi, J. Elec. Mater. 44, 356-361 (2014). (*1)
- T6. 「C40相を微量に含有するAl-Mn-Si基C54相の熱電特性」山本晃生、宮崎秀俊、西野洋一、竹内恒博、日本金属学会誌 特集「熱電材料研究の新展開~新しい物性解析技術と新材料~」79, 577-580 (2015). (*2)
- T7. "Thermoelectric properties of Al-Mn-Si C40 phase containing small amount of W or Ta," A. Yamamoto, H. Miyazaki, M. Inukai, Y. Nishino, and T. Takeuchi, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 071801 (2015). (*2)
- T8. "Thermoelectric properties of β-Indium sulfide with sulphur deficiencies," Y.-X. Chen, K. Kitahara, and T. Takeuchi, J. Appl. Phys. 118, 245103 (2015).
- T9. 「準結晶の異常電子熱伝導度が生み出す巨大な熱整流効果」竹内恒博、固体物理 50、33-41 (2015). (解説論文) (*1)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- T10. "Thermoelectric properties of super-saturated Re solid solution of higher manganese silicides," A. Yamamoto, S. Ghodke, H. Miyazaki, M. Inukai, Y. Nishino, M. Matsunami, and T. Takeuchi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 020301 (2016). (*3)
- T11. "Thermal Conductivity Measurement of Liquid-Quenched Higher Manganese Silicides," S. Nishino, M. Miyata, K. Ohdaira, M. Koyano, and T. Takeuchi, *J. Elec. Mater.* **45**, 1821-1826 (2016). (*2)
- T12. "Enhanced thermoelectric properties of W and Fe substituted $MnSi_y$," S. Ghodke, N. Hiroishi, A. Yamamoto, H. Ikuta, M. Matsunami, and T. Takeuchi, *J. Elec. Mater.* **45**, 5279-5284 (2016). (*4)
- T13. "Thermoelectric Properties of Al-Mn-Si Based C54 Phase Containing Small Amount of C40 Phase," A. Yamamoto, S. Ghodke, H. Miyazaki, Y. Nishino, M. Matsunami and T. Takeuchi, *Mater. Trans.* **57**, 1055-1058 (2016). (*2)
- T14. "Development of Thermoelectric Materials Consisting Solely of Environmental Friendly Elements," T. Takeuchi, A. Yamamoto and S. Ghodke, *Mater. Trans.* **57**, 1029-1034 (2016) (Review article). (*2)
- T15. "Thermoelectric Properties Higher Manganese Silicide Containing Small Amount of $MnSi/Si$ Nano-Particles," Swapnil Ghodke, A. Yamamoto, H. Ikuta, T. Takeuchi, *Proceedings of 11th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications, Ceramics for Energy Conversion, Storage, and Distribution Systems: Ceram. Trans.* **255**, 115-122 (2016). (*2)
- T16. "The Potential of Maximal ZT-Value for Thermoelectric Materials of $Mn_{11}Si_{19}$ HMS Phase by Calculating Electronic Structure," A. Yamamoto, K. Kitahara, H. Miyazaki, M. Inukai, and T. Takeuchi, *Proceedings of 11th International Conference on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications, Ceramics for Energy Conversion, Storage, and Distribution Systems: Ceram. Trans.* **255**, 147-156 (2016). (*2)
- T17. "Thermoelectric Properties of Fe_2VAl -Based Thin-Films Deposited at High Temperature," S. Hiroi, M. Mikami and T. Takeuchi, *Mater. Trans.* **57**, 1628-1632 (2016).
- T18. "Thickness dependence of thermal conductivity and electron transport properties of Fe_2VAl thin-films prepared by RF sputtering technique," S. Hiroi, M. Mikami, K. Kitahara, and T. Takeuchi, *International Journal of Nanotechnology* **13**, 881-890 (2016).
- T19. "The Potential of $FeVSb$ Half-Heusler Phase for Practical Thermoelectric Material," A. Yamamoto and T. Takeuchi, *J. Elec. Mater.* **46**, 3200-3206 (2017).

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

T20. "Thermoelectric properties of p-type Cr doped MnSi prepared by liquid quenching technique," S. Ghodke, A. Yamamoto, M. Omprakash, H. Ikuta, and T. Takeuchi, Mater. Trans. 58, 160-163 (2017).

T21. "Doping effects of Mg for In on the thermoelectric properties of β -In₂S₃ bulk samples," Y.-X. Chen, A. Yamamoto, and T. Takeuchi, J. Alloys Compounds 695, 1631-1636 (2017).

T22. "Enhancement of power factor by energy filtering effect in hierarchical BiSbTe₃ nanostructures for thermoelectric applications," M. Sabarinathana, M. Omprakash, S. Harish, M. Navaneethan, J. Archana, S. Ponnusamy, H. Ikeda, T. Takeuchi, C. Muthamizchelvan, and Y. Hayakawa, Appl. Surf. Sci. (2016), published electronically.

【界面・電極制御による電力損失の低減 - 界面制御磁性メモリ】

M1. 「電流駆動磁壁移動を用いた積層型 3 次元磁気メモリ」 栗野博之、日本磁気学会誌、9、275 (2014)。 (査読なし)

M2. 「希土類・遷移金属磁性細線における電流磁壁駆動効果の改善」 栗野博之、映像情報メディア学会技術報告、39、p.25-30、(2014)。 (査読なし)

M3. 「磁性細線における磁壁の電流駆動の基礎検討」 栗野博之、電子情報通信学会信学技法 IEIEC Technical Report、MR2014-11、p.17-22、(2014)。 (査読なし)

M4. "Domain wall motion in Tb/Co multilayer wire with a large domain wall depinning field," Do Bang, H. Awano, J. Appl. Phys. 115, 17D512 (2014).

M5. "Investigation of domain wall motion in RE-TM magnetic wire towards a current driven memory and logic," Hiroyuki Awano, Journal of Magnetism and Magnetic Materials **383**, 50 (2015).

M6. "Strain-induced reversible modulation of the magnetic anisotropy in perpendicularly magnetized metals deposited on a flexible substrate," Shinya Ota, Yuki Hibino, Do Bang, Hiroyuki Awano, Takahiro Kozeki, Hirokazu Akamine, Tatsuya Fujii, Takahiro Namazu, Taishi Takenobu, Tomohiro Koyama, and Daichi Chiba, Appl. Phys. Exp. 9, 043004 (2015).

M7. "High efficiency of the spin-orbit torques induced domain wall motion in asymmetric interfacial multilayered Tb/Co wires," Do Bang, Hiroyuki Awano, J. Appl. Phys. 117, 17D916 (2015).

M8. "Current-induced dynamics of bubble domains in perpendicularly magnetized TbFeCo wires," Masaaki Tanaka, Hiroki Kanazawa, Sho Sumitomo, Syuta Honda, Ko Mibu, and

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

Hiroyuki Awano, Appl. Phys. Exp. 8, 073002 (2015).

M9. “Enhanced perpendicular coercive force of ultrathin perpendicularity,” Do Bang, Hiroyuki Awano, Journal of Science, Advanced Materials and Devices 1, 57 (2016).

M10. “Current-induced domain wall motion attributed to spin Hall effect and Dzyaloshinsky–Moriya interaction in Pt/GdFeCo (100 nm) magnetic wire,” Yuichiro Kurokawa, Masaya Kawamoto and Hiroyuki Awano, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 07MC02 (2016). (*5)

M11. “Enhancement of spin Hall effect induced torques for current-driven magnetic domain wall motion: Inner interface effect,” Do Bang, Jiawei Yu, Xuepeng Qiu, Yi Wang, Hiroyuki Awano, Aurelien Manchon, and Hyunsoo Yang, Phys. Rev. B 93, 174424 (2016). (*5)

【界面・電極制御による電力損失の低減 -光電・電光変換素子】

P1. “Dilute nitride InNP quantum dots: Growth and photoluminescence mechanism,” Y. J. Kuang, K. Takabayashi, S. Sukrittanon, J. L. Pan, I. Kamiya, and C. W. Tu, Appl. Phys. Lett. 105, 173112 (2014).

P2. “Formation of conductive spontaneous via holes in AlN buffer layer on n⁺Si substrate by filling the vias with n-AlGaIn by metal chemical vapor deposition and application to vertical ultraviolet photo-sensor,” N. Kurose, N. Iwata, I. Kamiya, and Y. Aoyagi, AIP Advances 4, 123007 (2014).

P3. “Strain engineering of quantum dots for long wavelength emission: Photoluminescence from self-assembled InAs quantum dots grown on GaAs(001) at wavelengths over 1.55 μm,” Kenichi Shimomura and Itaru Kamiya, Appl. Phys. Lett. 106, 082103 (2015). (*10)

P4. “Enhancement of the performance of GaP Solar cells by embedded In(N)P quantum dots,” Y. J. Kuang, K. Takabayashi, S. Sukrittanon, J. L. Pan, I. Kamiya, and C. W. Tu, Nano Energy 15, 782-788 (2015).

P5. “Femtosecond upconverted photocurrent spectroscopy of InAs quantum nanostructures,” Yasuhiro Yamada, David M. Tex, Itaru Kamiya, and Yoshihiko Kanemitsu, Appl. Phys. Lett. 107, 013905 (2015).

P6. “Direct observation of strain in InAs quantum dots and cap layer during molecular beam epitaxial growth using *in situ* X-ray diffraction,” Kenichi Shimomura, Hidetoshi Suzuki, Takuo Sasaki, Masamitsu Takahashi, Yoshio Ohshita, and Itaru Kamiya, J. Appl. Phys. 118, 185303 (2015). (*10)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

P7. "InGaAs Triangular Barrier Photodiodes for High-Responsivity Detection of Near-Infrared Light," Kazuya Sugimura, Masato Ohmori, Takeshi Noda, Tomoya Kojima, Sakunari Kado, Pavel Vitushinskiy, Naotaka Iwata, Hiroyuki Sakaki, Applied Physics Express 9, 062101 (2016).

【界面・電極制御による電力損失の低減 -有機電子素子】

O1. "Effect of catalytic metals of various elements on synthesis of graphite-capped, vertically aligned carbon nanotube arrays," Yuki Matsuoka and Masamichi Yoshimura, Jpn. J. Appl. Phys. 53, 045501 (2014).

O2. "Low Density Growth of Graphene by Air Introduction in Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition," Seiya Suzuki, Kana Kiyosumi, Takashi Nagamori, Kei Tanaka, M. Yoshimura, e-J. Surf. Sci. Nanotech. 13, 404-409 (2015). (*11)

O3. "Macroscopic, Freestanding, and Tubular Graphene Architectures Fabricated via Thermal Annealing," D. Dung, S. Suzuki, S. Kato, B. To, C. Hsu, H. Murata, E. Rokuta, N. Tai, M. Yoshimura, ACS Nano 9(3), 3206-3214 (2015).

O4. "Graphene and graphene oxide for desalination," Yi You, Veena Sahajwalla, Masamichi Yoshimura and Rakesh K. Joshi, Nanoscale 8, 117-119 (2016).

O5. "Graphene/SiC(0001) interface structures induced by Si intercalation and their influence on electronic properties of graphene," A. Visikovskiy, S. Kimoto, T. Kajiwara, M. Yoshimura, T. Iimori, F. Komori, S. Tanaka, Phys. Rev. B 94, 245421 (2016).

O6. "On the mechanism of gas adsorption for pristine, defective and functionalized graphene," Y. You, J. Deng, X. Tan, N. Gorjizadeh, M. Yoshimura, S. C. Smith, V. Sahajwalla and R. K. Joshi, Phys. Chem. Chem. Phys. 19, 6051-6056 (2017).

【界面・電極制御による電力損失の低減 -界面改質プロセス: YAG セラミックス作製】

C1. "Formation of preferentially oriented $Y_3Al_5O_{12}$ film on a reactive sapphire substrate: Phase and texture transitions from Y_2O_3 ," Shuichi Arakawa, Hiroaki Kadoura, Takeshi Uyama, Kazumasa Takatori, Yasuhiko Takeda, and Toshihiko Tani, J. Eur. Ceram. Soc. 36, 663-670 (2016). (*13,14).

C2. "Microstructural evolution of high purity alumina ceramics prepared by a templated grain growth method," Kazumasa Takatori, Hiroaki Kadoura, Hidehito Matsuo, Shuichi Arakawa, and Toshihiko Tani, J. Ceram. Soc. Japan 124 (4), 432- 441 (2016).

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

<図書>

1. 「磁気便覧」 栗野博之
『光磁気記録材料』 第3章 p.370-380 日本磁気学会編、丸善出版、2016年1月刊
2. 「熱電変換材料 実用・活用を目指した設計と開発(書名)」 竹内恒博
『熱電材料の性能向上・コストダウンの為のポイント(分担章タイトル)』(第1章 第2節)、情報機構、2014年12月19日刊

<学会発表>

- 国内**
【先進エネルギー変換素子・材料 - 熱電材料、熱ダイオード, 熱スイッチ】
- DT1. 「高性能熱電材料における界面の役割」(基調講演) 竹内恒博、日本金属学会 2014年春期(第154回)講演大会、東京工業大学、2014/3/23 (3/21-23)
 - DT2. 「高性能熱電材料の開発における粉末冶金の重要性」(基調講演) 竹内恒博、粉体粉末冶金協会 平成26年度秋季大会、大阪大学、2014/10/29 (10/29-31)
 - DT3. “Effect of silicon nano particles on thermoelectric properties of higher manganese silicide,” S. Ghodke, A. Yamamoto, H. Ikuta, and T. Takeuchi 第62回応用物理学会春期学術講演会、東海大学 湘南キャンパス、2015/3/12 (3/11-14)
 - DT4. 「構成元素 Mn を重元素 Re で部分置換した高マンガンシリサイドの熱電物性」 山本晃生、広石尚也、竹内恒博、第62回応用物理学会春期学術講演会、東海大学 湘南キャンパス、2015/3/12 (3/11-14)
 - DT5. 「室温以上で動作する固体熱整流材料の開発」(招待講演) 竹内恒博、第52回伝熱シンポジウム、福岡国際会議場、2015/6/4 (6/3-5)
 - DT6. 「Mn を重元素(Ta,W,Re)で微量置換した高マンガンシリサイドの熱電物性」 山本晃生、広石尚也、竹内恒博、第12回日本熱電学会学術講演会、九州大学 筑紫地区総合研究棟、福岡、2015/9/7 (9/7-8)
 - DT7. 「Fe₂VAl 系合金薄膜の成膜温度に伴う構造変化と熱電性能」 廣井慧、三上祐史、竹内恒博、第12回日本熱電学会学術講演会、九州大学 筑紫地区総合研究棟、福岡、2015/9/8 (9/7-8)
 - DT8. “Thermoelectric properties of bulk β-Indium sulfide with Mg doping,” Y. -X. Chen, K. Kitahara, T. Takeuchi 第76回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2015/9/13 (9/13-16)
 - DT9. 「構成元素 Mn の一部を Ta で部分置換した HMS の熱電物性」 山本晃生、広石尚也、竹内恒博 第76回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2015/9/13 (9/13-16)
 - DT10. “Thermoelectric properties of W-substituted bulk higher manganese silicide,” S. Ghodke, N. Hiroishi, A. Yamamoto, and T. Takeuchi 第76回応用物理学会秋季学術講演

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

会、名古屋国際会議場、2015/9/13 (9/13-16)

- DT11. 「Fe₂VAl 系薄膜熱電材料の熱電特性」 竹内恒博、廣井慧、三上祐史、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2015/9/13 (9/13-16)
- DT12. 「高マンガンシリサイド高性能熱電材料の創製」 (招待講演) 竹内恒博、山本晃生、Swapnil Ghodke、第 26 回シリサイド系半導体研究会、ウィルあいち、名古屋、2015/9/16
- DT13. 「高性能マンガンシリサイド熱電材料の創製」 山本晃生、スワプニルゴドゥケ、生田博志、竹内恒博 日本金属学会・2015 年秋期講演大会、九州大学 伊都キャンパス、福岡、2015/9/17 (9/16-18)
- DT14. 「ホイスラー型 Fe₂VA 系合金の薄膜化による熱電性能向上の試み」 廣井慧、三上 祐史、竹内恒博、日本金属学会・2015 年秋期講演大会、九州大学 伊都キャンパス、福岡、2015/9/17 (9/16-18)
- DT15. 「Al-Cu-Fe 準結晶の熱伝導特性」 北原功一、竹内恒博 日本物理学会・2015 年秋季大会、関西大学 千里山キャンパス、2015/9/17 (9/16-19)
- DT16. 「Ag₂Ch (Ch = Te, Se, S)で観測される異常熱伝導度とそれを利用した固体熱流制御材料の創製」(シンポジウム講演) 竹内恒博、日本物理学会・2015 年秋季大会、関西大学 千里山キャンパス、2015/9/17 (9/16-19)
- DT17. 「MnSi_γ 系高性能バルク熱電材料の開発」 (招待講演) 竹内恒博、第 27 回排熱発電コンソーシアム、安保ホール、名古屋、2015/11/3
- DT18. 「精密電子構造解析に基づく熱電物性の理解と高性能熱電材料の設計指針」 (招待講演) 竹内恒博、第 25 回日本 MRS 年次大会、横浜市開港記念会館、2015/12/8 (12/8-10)
- DT19. 「Al-Cu-Fe 準結晶の熱伝導特性に対する元素置換効果」 北原功一、竹内恒博、石切山守、木下洋平、大橋良央、吉永泰三、山口剛生、日本物理学会・第 71 回年次大会、東北学院大学 泉キャンパス、2016/3/22 (3/19-22)
- DT20. 「熱伝導度に異常な温度依存性を示す材料を利用した熱流ダイオードの開発」 (シンポジウム講演) 竹内恒博 第 63 回応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学 大岡山キャンパス、2016/3/22 (3/19-22)
- DT21. 「p 型及び n 型高性能 MnSi_γ (γ ~ 1.73)系高マンガンシリサイド合金の創製」 山本晃生、竹内恒博 日本金属学会・2016 年春季(第 158 回)大会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/3/24 (3/23-25)
- DT22. “Evolution of transport properties with microstructure in Re doped MnSi_γ,” Swapnil Ghodke, Akio Yamamoto, Hiroshi Ikuta, Tsunehiro Takeuchi 日本金属学会・2016 年春季(第 158 回)大会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/3/24 (3/23-25)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- DT23. 「Fe₂VAl 系合金薄膜の熱電特性」 廣井慧、三上祐史、竹内恒博、日本金属学会・2016 年春季 (第 158 回)大会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/3/24 (3/23-25)
- DT24. 「Mn を(Ta,W,Re)で部分置換した HMS 相に対して Ag を少量添加したバルク体の熱電物性」 山本晃生、竹内恒博、第 13 回日本熱電学会学術講演会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/9/5 (9/5-7)
- DT25. 「Fe₂VAl 層と重金属からなる多層膜の作成と熱伝導度へ影響」 廣井慧、竹内恒博、第 13 回日本熱電学会学術講演会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/9/5 (9/5-7)
- DT26. “Amorphous Si_{1-x}Ge_x containing crystalline nano-particles prepared by high-energy planetary ball milling,” M. Omprakash, S. Nishino, M. Adachi, T. Takeuchi, 第 13 回日本熱電学会学術講演会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/9/5 (9/5-7)
- DT27. “Nanostructured super-saturated solid solution of transition metal (Cr/Fe/W/Re) substituted higher manganese silicide,” (ポスター発表) Swapnil Ghodke, A. Yamamoto, H. Ikuta, T. Takeuchi, 第 13 回日本熱電学会学術講演会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/9/6 (9/5-7)
- DT28. 「Yb 化合物の熱電材料探索」(ポスター発表)飯塚拓也、堀太郎、山本晃生、松波雅治、竹内恒博、第 13 回日本熱電学会学術講演会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/9/6 (9/5-7)
- DT29. “Thermoelectric properties of lacunar spinel β-In_{2-2x}Cu_xZn_xS₃,” K. Delime-Codrin, T. Takeuchi, 第 13 回日本熱電学会学術講演会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/9/6 (9/5-7)
- DT30. 「2 種類の蔡型クラスターにおける電子状態の違い: Yb 系近似結晶の光電子分光」 松波雅治、大浦正樹、出田真一郎、田中清尚、玉作賢治、石川哲也、竹内恒博、山田庸公、蔡安邦、出口和彦、佐藤憲昭、石政勉、日本物理学会・2016 年秋季大会、金沢大学 角間キャンパス、2016/9/14 (9/13-16)
- DT31. 「Fe₂VAl 系熱電材料の人工超格子による熱伝導度制御」 廣井慧、竹内恒博、第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、新潟コンベンションセンター、2016/9/15 (9/13-16)
- DT32. 「電子構造から予測した FeVSb half-Heusler の熱電物性」 山本晃生、山田竜也、竹内恒博 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、新潟コンベンションセンター、2016/9/15 (9/13-16)
- DT33. 「周期加熱法を用いた MnSi_yリボン状試料の熱伝導度測定」 西野俊佑、Swapnil Ghodk、山本晃生、竹内恒博 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、新潟コンベンションセンター、2016/9/15 (9/13-16)
- DT34. 「 $ZT > 2$ を実現する条件と新しい熱電材料の開発」(シンポジウム講演) 竹内恒博、第 77 回応用物

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、新潟コンベンションセンター、2016/9/16 (9/13-16)

- DT35. 「異常電子熱伝導度と異常格子熱伝導度を利用した革新的熱利用材料」(招待講演) 竹内恒博
日本伝熱学会東海支部主催第 27 回東海伝熱セミナー『エネルギー有効利用のための熱工学的アプローチ』、鳥羽シーサイドホテル、2016/9/17 (9/16-17)
- DT36. 「Fe₂VAl 系人工超格子の熱伝導度評価」 廣井慧、竹内恒博、日本金属学会・2016 年秋期(第 159 回)大会、東京理科大学 葛飾キャンパス、2016/9/22 (9/21-23)
- DT37. 「微細電子構造とフォノンの散乱機構を考慮した環境調和型熱電材料の開発」(招待講演) 竹内恒博、平成 28 年度液体・非晶質研究会、エッサム神田ホール 401 会議室、東京、2017/3/13
- DT38. 「Fe₂VAl/重金属系人工超格子の熱伝導度低減効果」 廣井慧、竹内恒博 第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017/3/14 (3/14-17).
- DT39. 「MBE 法で作製した Si-Ge 薄膜の熱電物性」 西野俊佑、浴野哲史、犬飼 学、Muthusamy Omprakash、竹内恒博 第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017/3/15 (3/14-17)
- DT40. “Thermoelectric properties of half-Heusler FeV_{1-x}Ti_xSb,” Kevin Delime-Codrin, A. Yamamoto, T. Yamada and T. Takeuchi 第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜 2017/3/15 (3/14-17)
- DT41. “Enhancement of thermoelectric properties in amorphous Si_{1-x}Gex synthesized by mechanical alloying process,” (ポスター講演) Omprakash Muthusamy, Shunsuke Nishino, Masahiro Adachi, Tsunehiro Takeuchi、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017/3/16 (3/14-17)
- DT42. 「熱処理中その場 X 線回折測定による a-Si/Ge 薄膜中ナノ結晶の観察」(ポスター講演)足立真寛、豊島 遼、徳田一弥、斎藤吉広、藤井俊輔、木山 誠、山本喜之、西野俊佑、Omprakash Muthusamy、竹内恒博、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017/3/16 (3/14-17)

【界面・電極制御による電力損失の低減 - 界面制御磁性メモリ】

- DM1. 「希土類磁性細線を用いたマルチレベルレーストラックメモリの検討」黒川雄一郎、栗野博 14p-p.10-30、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2016 年 3 月 14 日
- DM2. 「希土類遷移金属合金 TbCo 磁性細線メモリの連続記録再生」吉村瞭吾、黒川雄一郎、鷺見聡、栗野博之、14p-p.10-33 第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2016 年 3 月 14 日
- DM3. “Effect of ultrathin Tb layer on current driven domain wall motion in Co/Tb magnetic bilayers.” Cheng Ying Wu, Hiroyuki Awano 14p-P10-46、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2016 年 3 月 14 日

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

演会、パシフィコ横浜、2016年3月14日

DM4. 「Pt/TbCo 薄膜の磁気光学特性」家元章吾、鷺見聡、栗野博之、林将光 14p-P10-34、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2016年3月14日

DM5. “Domain wall dynamics in ferrimagnetic Tb/Co multilayer wires below and above the magnetic compensation point,” Hiroyuki Awano, Masaaki Tanaka(Nagoya Institute of Technology), Sho Sumitomo(Nagoya Institute of Technology), Noriko Adachi(Nagoya Institute of Technology), Ko Mibu(Nagoya Institute of Technology), Shuta Honda(Kansai University) 第63回応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学 大岡山キャンパス、2016年3月19日

【界面・電極制御による電力損失の低減 -光電・電光変換素子】

DP1. 「結晶成長その場 X 線回折装置(MBE-XRD)による InGaAs/GaAs(001)の緩和研究」小寺大介、佐々木拓生、西俊明、鈴木秀俊、小島信晃、大下祥雄、山口真史、第 11 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム、宮崎観光ホテル(2014年7月3日～4日)

DP2. 「GaAs(111)基板上に成膜した(In_xGa_{1-x})₂Se₃ 薄膜の構造評価」中村紘也、小島信晃、大下祥雄、山口真史、第 11 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム、宮崎観光ホテル(2014年7月3日～4日)(*7)

DP3. 「GaAs 基板の傾斜方向が InGaAs 膜中緩和過程に与える影響 -X 線回折 その場観察」小寺大介、佐々木拓生、高橋正光、鈴木秀俊、小島信晃、大下祥雄、神谷格、山口真史、2014年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学 札幌キャンパス(2014年9月17日～20日)

DP4. 「t-C₄H₉GeH₃を用いた Si および SiO₂基板上への Ge 薄膜成長」片山僚太、須田耕平、町田英明、須藤弘、石川真人、小椋厚志、大下祥雄、第 13 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム、アオーレ長岡(2016年5月19日～20日)

DP5. 「遷移金属酸化物/SiO₂/結晶 Si ヘテロ接合コンタクト界面における仕事関数」神岡武文、林豊、磯貝勇樹、中村京太郎、大下祥雄、第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ(2016年9月13日～16日)(*6)

DP6. 「遷移金属酸化物/SiO₂/結晶 Si ヘテロ接合コンタクト界面における仕事関数(2):RPD-ITO」神岡武文、山田郁彦、林豊、磯貝勇樹、リヒュンジュ、中村京太郎、大下祥雄、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜(2017年3月14日～17日)(*6)

DP7. 「InP(100)基板上における InAs/InAlGaAs 量子ロッド構造の形成」大森雅登、野田武司、小嶋友也、杉村和哉、Pavel Vitushinskiy、岩田直高、榊裕之、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2015年9月14日(*8)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- DP8. 「赤外用三角障壁フォトトランジスタの暗電流低減と室温動作」 杉村和哉、大森雅登、野田武司、Vitushinskiy Pavel、岩田直高、榊裕之、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2015 年 9 月 15 日
- DP9. 「HCl 表面処理とプラズマ励起原子層堆積 SiN_x 膜による AlGaIn/GaN HEMT の表面安定化」 鈴木貴之、土屋晃祐、大保崇博、赤澤良彦、下野貴史、松本滉太、江口卓也、岩田直高、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 16 日 (*9)
- DP10. 「プラズマ励起原子層堆積プラズマ励起原子層堆積保護膜による AlGaIn/GaN HEMT の表面安定化」 鈴木貴之、山田富明、河合亮輔、川口翔平、張東岩、岩田直高、第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、新潟コンベンションセンター、2016 年 9 月 16 日 (*9)
- DP11. 「フェムト秒励起光電流分光による InAs 量子構造の光キャリアアップコンバージョン過程と電子・正孔寿命の決定」 山田泰裕、David M. Tex、神谷格、金光義彦、日本物理学会 2014 年秋季大会 9pAD-2、中部大学 春日井キャンパス、2014 年 9 月 9 日 (9/7-10)
- DP12. 「GaAs(001)上の InAs 量子ドットの 1.55 μ m 以上での発光」 下村憲一、神谷格、2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 18p-A20-15 北海道大学 札幌キャンパス、2014 年 9 月 18 日 (9/17-20)
- DP13. 「GaAs 基板の傾斜方向が InGaAs 膜中緩和過程に与える影響 – X 線回折その場観察」 小寺大介、佐々木拓生、高橋正光、神谷格、大下祥雄、小島信晃、山口真史、鈴木秀俊 2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 19a-S1-3 北海道大学 札幌キャンパス、2014 年 9 月 19 日 (9/17-20)
- DP14. 「ケルビンプローブ顕微鏡を用いた Si ヘテロ接合 (SHJ) 太陽電池における表面構造界面の局所的仕事関数測定」 山田郁彦、神岡武文、立花福久、中村京太郎、神谷格、大下祥雄、2014 年第 75 回応用物理学会秋季学術講演会 19a-A25-8、北海道大学 札幌キャンパス、2014 年 9 月 19 日 (9/17-20)
- DP15. 「Si ヘテロ接合(SHJ)太陽電池におけるケルビンプローブ顕微鏡を用いた仕事関数測定の定量性検討」 山田郁彦、高林紘、神岡武文、立花福久、中村京太郎、大下祥雄、神谷格 2015 年春季第 62 回応用物理学関係連合講演会 11p-C5-2、東海大学 湘南キャンパス、2015 年 3 月 11 日 (3/11-14)
- DP16. 「Cu₂ZnSnS₄ ナノ粒子の液相合成における Cu²⁺還元過程」 森下一喜、須藤裕之、神谷格 2015 年春季第 62 回応用物理学関係連合講演会、12p-C5-2、東海大学 湘南キャンパス、2015 年 3 月 12 日 (3/11-14)
- DP17. 「GaAs(001)上の InAs 量子ドットの 1.55 μ m 以上での発光(2)」 下村憲一、神谷格、2015 年、春季第 62 回応用物理学関係連合講演会 12p-C5-2、東海大学 湘南キャンパス、2015 年 3 月 14 日 (3/11-14) (*10)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- DP18. 「結晶 Si 太陽電池の断面仕事関数測定に適した観察研磨手法の検討」 山田郁彦、高林紘、神岡武文、大下祥雄、神谷格、須田耕平、中村京太郎、小椋厚志、2015 年春第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、15a-2S-9、名古屋国際会議場、2015 年 9 月 15 日 (9/13-16)
- DP19. 「表面 In(Ga)As 量子ドット仕事関数の歪依存性 (注目講演)」 小林知弘、高林紘、下村憲一、Yuwei Zhang、山田郁彦、神谷格、2016 年春季第 63 回応用物理学関係連合講演会 20a-S223-3、東京工業大学 大岡山キャンパス、2016 年 3 月 20 日 (3/19-22)
- DP20. “Up-converted photoluminescence in InAs QD-based structures with confined state,” Yuwei Zhang and Itaru Kamiya, 2016 年春季第 63 回応用物理学関係連合講演会 20a-S011-4、東京工業大学 大岡山キャンパス、2016 年 3 月 20 日 (3/19-22)
- DP21. 「太陽電池構造断面試料作製時のダメージが仕事関数測定に与える影響」 山田郁彦、神岡武文、大下祥雄、神谷格、2016 年春季第 63 回応用物理学関係連合講演会、20a-W611-9、東京工業大学 大岡山キャンパス、2016 年 3 月 20 日 (3/19-22)
- DP22. 「太陽電池構造評価に適した光照射が可能な AFM/KFM 装置の開発」 山田郁彦、神岡武文、大下祥雄、神谷格、2016 年第 77 回応用物理学会秋季学術講演会 15p-P13-14、朱鷺メッセ(新潟)、2016 年 9 月 15 日 (9/13-16)
- DP23. 「Si ドープによる InAs 量子ドットの仕事関数変化」 小林知弘、高林紘、下村憲一、Yuwei Zhang、山田郁彦、神谷格、2016 年第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、15p-A26-5、朱鷺メッセ、新潟コンベンションセンター、2016 年 9 月 15 日 (9/13-16)
- DP24. “Strain relaxation in submonolayer InAs/GaAs quantum structures,” Yuwei Zhang and Itaru Kamiya, 2016 年第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、16a-A26-2、朱鷺メッセ、新潟コンベンションセンター、2016 年 9 月 16 日 (9/13-16)
- DP25. 「KFM を用いた InAs 量子ドット表面近傍のバンド解析」 小林知弘、高林紘、下村憲一、Yuwei Zhang、山田郁彦、神谷格、2017 年春季第 64 回応用物理学関係連合講演会、14p-E205-7、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 14 日 (3/14-17)
- DP26. “Epitaxial growth of various InAs nanostructures by different growth methods,” Yuwei Zhang and Itaru Kamiya, 2017 年春季第 64 回応用物理学関係連合講演会、15a-P9-1、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 15 日 (3/14-17)
- DP27. 「平坦な p-n 接合断面における局所仕事関数測定」 (ポスター賞受賞) 山田郁彦、神岡武文、水野皓登、大下祥雄、神谷格、2017 年春季第 64 回応用物理学関係連合講演会、15a-P11-6、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 15 日 (3/14-17)

【界面・電極制御による電力損失の低減 -有機電子素子】

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- DO1. 「探針増強ラマン散乱分光法による酸化グラフェンの 2 次元マッピング」 稲葉 達郎、川畑 智雅、De Silva Kanishka、吉村 雅満、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 16 日 (*12)
- DO2. 「2 層グラフェンによる SERS 基板内銀粒子の保護」 鈴木誠也、吉村 雅満、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 15 日
- DO3. “Reliable transfer of large-area single crystal CVD graphene for field effect transistor,” Liao YenChang、鈴木誠也、吉村 雅満、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、2017 年 3 月 14 日(*11)

【界面・電極制御による電力損失の低減 -界面改質プロセス:YAG セラミックス作製】

- DC1. 「サファイア基板を Reactive substrate として用いた YAG 配向膜の作製」 荒川修一、門浦弘明、宇山健、鷹取一雅、谷俊彦、日本セラミックス協会 2015 年年会(予稿集 1p.165)、岡山大学、2015 年 3 月 18 日 (3/18-20) (*13)
- DC2. 「サファイア基板上 Y₂O₃ 薄膜から作製した YAG 薄膜の結晶配向性解析」 荒川修一、門浦弘明、宇山健、鷹取一雅、竹田康彦、谷俊彦、日本セラミックス協会 2016 年年会(予稿集 1p.195)、早稲田大学、2016 年 3 月 14 日 (3/14-16) (*14)

国際会議

【先進エネルギー変換素子・材料 - 熱電材料、熱ダイオード、熱スイッチ】

- IT1. [Invited] “Development of thermal rectifier using unusual electron thermal conductivity of icosahedral quasicrystals,” T. Takeuchi, APS March Meeting, San Antonio, Texas, March 5, 2015 (March 2-6).
- IT2. “Thermoelectric properties of higher manganese silicide containing small amount of Re,” A. Yamamoto and T. Takeuchi, 11th International Conference on Ceramic Materials and Components for energy and Environmental Applications, Vancouver, Canada, June 16, 2015 (June 14-19).
- IT3. [Invited] “Development of thermoelectric materials using information about the electronic structure near the chemical potential,” T. Takeuchi, A. Yamamoto, N. Hiroishi, S. Ghodke, and H. Ikuta, 34th Annual International Conference on Thermoelectrics & 13th European Conference on Thermoelectrics, Dresden, Germany, June 30, 2015 (June 28-July 2).
- IT4. [Invited] “Development of high performance thermoelectric materials consisting solely of ubiquitous elements,” T. Takeuchi, 14th International Union of Materials Research Societies-International Conference on Advanced Materials, Jeju, Korea, October 29, 2015

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

(Oct. 25-29).

- IT5. [Invited] “Thermoelectric properties of Heusler type Fe_2VAl thin-films deposited at high temperature,” S. Hiroi, M. Mikami and T. Takeuchi, International Congress on Small Science 2015, Phuket, Thailand, November 6, 2015 (Nov. 4-7).
- IT6. [Invited] “Theories of thermoelectric properties and guiding principle for developing high-performance,” T. Takeuchi, International Conference on Thermoelectric Materials Science 2015, Nagoya Univ., November 9, 2015 (Nov. 9-11).
- IT7. [Invited] “Unusual behaviors of thermal conductivity observed for icosahedral quasicrystals and approximants,” T. Takeuchi, Toyota RIKEN International Workshop on Strongly Correlated Electron Systems: Open Space between Heavy Fermions and Quasicrystals, Nagoya Univ., November 19, 2015 (Nov. 17-19).
- IT8. [Invited] “Development of Bulk Thermal Rectifiers using Al-Cu-Fe Quasicrystals,” K. Kitahara and T. Takeuchi, The EMN Thermoelectric Materials Meeting 2016, Kissimmee, USA, February 23, 2016 (Nov. 21-25).
- IT9. “Thermoelectric performance of higher manganese silicide containing a small amount of 5d transition metal elements,” A. Yamamoto, S. Ghodke, M. Matsunami, and T. Takeuchi, The 35th International Conference on Thermoelectrics & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT 2016) Wuhan, China, May 31, 2016 (May 29-Jun. 2).
- IT10. “Thermoelectric properties of lacunar spinel $\beta\text{-In}_{2-2x}\text{Cu}_x\text{Zn}_x\text{S}_3$,” K. Delime-Codrin, A. Yamamoto, K. Kitahara, S. Hiroi, and T. Takeuchi, The 35th International Conference on Thermoelectrics & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT 2016) Wuhan, China, May 31, 2016 (May 29-Jun. 2).
- IT11. “Enhancement of power factor by energy filtering effect in Re substituted HMS,” Swapnil Ghodke, A. Yamamoto, H. Ikuta, and T. Takeuchi, The 35th International Conference on Thermoelectrics & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT 2016) Wuhan, China, June 2, 2016 (May 29-Jun. 2).
- IT12. “Development thermal rectifiers using thermoelectric chalcogenide Ag_2Ch (Ch = S, Se, and Te),” T. Takeuchi, Y. Kinoshita, Y. Ohashi, T. Yoshinaga, T. Yamaguchi, and M. Ishikiriyama, The 35th International Conference on Thermoelectrics & The 1st Asian Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT 2016) Wuhan, China, May 31, 2016 (May 29-Jun. 2).
- IT13. “Thermoelectric properties of full-Heusler Fe_2VAl -based thin-films,” S. Hiroi and T. Takeuchi, The 35th International Conference on Thermoelectrics & The 1st Asian

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

Conference on Thermoelectrics (ICT/ACT 2016) Wuhan, China, May 30, 2016 (May 29-Jun. 2).

IT14. [Invited] “Development of high performance thermoelectric materials consisting solely of environmental friendly elements,” A. Yamamoto and T. Takeuchi, BIT's 5th Annual World Congress of Advanced Materials-2016, Chongqing, China, June 8, 2016 (Jun. 6-8).

IT15. [Invited] “Development of high performance thermoelectric materials using detailed information about electronic structure and local atomic arrangements,” T. Takeuchi, 2017 Spring Conference of the Korean Institute of Metals and Materials, Chongwang, Korea, April 27, 2017 (Apr. 26-28).

【界面・電極制御による電力損失の低減 - 界面制御磁性メモリ】

IM1. “Inner interface effect enhances spin-orbit torques in Tb/Co multilayered wires,” Do Bang, Jiawei Yu, Xuepeng Qiu, Hiroyuki Awano, Aurelien Manchon, and Hyunsoo Yang, 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, BD-11 (2016).

IM2. “Novel magnetic wire fabrication process by way of nano-imprint lithography for current induced magnetization switching,” T. Asari, H. Awano and R. Shibata, 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, EU-03 (2016).

IM3. “Enhancement of spin orbit torques in a Tb-Co alloy magnetic wire by controlling its Tb composition,” Y. Kurokawa, A. Shibata, and H. Awano, 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, EU-03 (2016).

IM4. [Invited] “Magnetic recording on the RE-TM /Pt magnetic wire deposited on nano-imprinted plastic substrate,” Hiroyuki Awano, Satoshi Sumi, Yuichiro Kurokawa, Do Bang, Akihiko Moribayashi, Ryogo Yoshimura, and Tsukasa Asari, International conference of the Asian Union of Magnetic Societies, (DC-01) (2016).

IM5. “Enhancement of spin Hall effect-induced torques for current driven magnetic domain wall motion,” Do Bang and Hiroyuki Awano, IEEE International Magnetism Conference GT-07 (2015).

【界面・電極制御による電力損失の低減 -光電・電光変換素子】

IP1. “In situ observation of strain relaxation during growth interruption in lattice-mismatched III-V heteroepitaxy,” Y. Ohshita, T. Nishi, D. Koderu, K. Ikeda, K. Shimomura, H. Suzuki, T. Sasaki, I. Kamiya, M. Takahashi, E-MRS 2014 SPRING MEETING, Congress Center, Lille, France (May 26-30, 2014).

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- IP2. “Growth of Layered $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{Se}_3$ Buffer Material for GaAs on Si System,” Nobuaki Kojima, Hiroya Nakamura, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, 40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC40), Colorado Convention Center, Denver, USA (Jun. 8-13, 2014) (*2).
- IP3. “In situ X-ray diffraction study of strain relaxation process of lattice-mismatched InGaAs/GaAs,” Daisuke Koderu, Toshiaki Nishi, Kazuma Ikeda, Takuo Sasaki, Masamitsu Takahashi, Hidetoshi Suzuki, Hiroya Nakamura, Yoshio Ohshita, Nobuaki Kojima, Itaru Kamiya, Masafumi Yamaguchi, The 15th International Union of Materials Research Societies (IUMRS)-International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2014), Fukuoka University, Japan (Aug. 24-30, 2014) Aug. 27.
- IP4. “Structural and Optical Characterization of MBE Grown $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{Se}_3$ on GaAs(111),” Hiroya Nakamura, Nobuaki Kojima, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan (Nov. 23-27, 2014) (*7).
- IP5. “In Situ X-Ray Diffraction Study of Strain Relaxation Process of Lattice-Mismatched InGaAs/GaAs,” D. Koderu, T. Nishi, K. Ikeda, T. Sasaki, M. Takahashi, H. Suzuki, H. Nakamura, Y. Ohshita, N. Kojima, I. Kamiya, M. Yamaguchi, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan (Nov. 23-27, 2014) Nov. 25.
- IP6. “Lattice Relaxation Mechanism of InGaAs on Vicinal GaAs Substrate,” Kazuma Ikeda, Hidetoshi Suzuki, Daisuke Koderu, Hiroya Nakamura, Nobuaki Kojima, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, 7th International Symposium on Innovative Solar Cells, ENEOS Hall, RCAST, Komaba II Research Campus, The University of Tokyo, Japan (Jan. 19-20, 2015).
- IP7. [Invited] “Layered $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{Se}_3$ (III₂-VI₃) Compounds as Novel Buffer Layers for GaAs on Si System,” Nobuaki Kojima, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, The Energy, Materials, and Nanotechnology (EMN) Meeting, The Westin Resort & Spa, Cancun, Mexico (Jun. 8-11, 2015) (*2).
- IP8. “Suppression of Twin Formation in Layered In_2Se_3 Grown on GaAs(111),” Nobuaki Kojima, Hiroya Nakamura, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, 42th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC42), Hyatt Regency-New Orleans, LA, USA (Jun. 14-19, 2015) (*7).
- IP9. “Optical properties of layered $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{Se}_3$ buffer material deposited on GaAs(111) substrate for III-V/Silicon solar cell,” Li Wang, Hiroya Nakamura, Nobuaki Kojima, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, 25th International Photovoltaic Science & Engineering

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

Conference (PVSEC-25), BEXCO, Busan, Korea (Nov. 15-20, 2015) (*7).

IP10. [Invited] “Real time study of strain relaxation in lattice mismatched InGaAs/GaAs for future tandem III-V solar cells,” Yoshio Ohshita, Hidetoshi Suzuki, Itaru Kamiya, Kazuma Ikeda, Takuo Sasaki, Masamitsu Takahashi, EMN Meeting on Photovoltaics 2016, Eaton Hotel, Hong Kong, China (Jan. 18-21, 2016).

IP11. “Light-Induced Degradation and Thermal-Induced Recovery of PECVD-SiN_x:H Passivation: Reaction Kinetics and Interfacial Properties,” Yoshio Ohshita, Takefumi Kamioka, Taisei Iwahashi, Lee Hyunju, Yuri Sato, 6th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics 2016 (Silicon PV 2016), Centre de congrès le Manège, Chambéry, France (Mar. 7-10, 2016).

IP12. “Effects of light soaking and thermal treatment on PECVD-SiN_x passivation on n-type Si,” Takefumi Kamioka, Taisei Iwahashi, Lee Hyunju, Yuri Sato, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita, 8th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 9th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma 2016 / IC-PLANTS 2016), Nagoya University, Japan (Mar. 10, 2016).

IP13. “Ge thin film growth on Si and SiO₂ using t-C₄H₉GeH₃,” R. Katayama, Nobuaki Kojima, K. Suda, H. Machida, M. Ishikawa, H. Sudo, A. Ogura, Yoshio Ohshita, The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-18), Nagoya Congress Center, Japan (Aug. 7-12, 2016).

IP14. “N incorporation at the surface step in CBE grown GaAsN film on GaAs(111) vicinal substrate,” Ryota Katayama, Nobuaki Kojima, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi, The 26th Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-26), Marina Bay Sands, Sands Expo and Convention Centre, Singapore (Oct. 24-28, 2016).

IP15. “Interfacial workfunctions of transition metal oxides in carrier-selective contact stacks,” Takefumi Kamioka, Yutaka Hayashi, Fumihiko Yamada, Yuki Isogai, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita, The 26th Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-26), Marina Bay Sands, Sands Expo and Convention Centre, Singapore (Oct. 24-28, 2016) (*6).

IP16. “Realization of Conductive AlN Epitaxial Layer on Si Substrate using Spontaneously Formed Nano-Size Via-Holes for Vertical AlGaN High Power FET,” Noriko Kurose, Kota Ozeki, Tsutomu Araki, Naotaka Iwata, Itaru Kamiya, and Yoshinobu Aoyagi, The 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS), Toyama Japan, ThD2-4 (Jun. 30, 2016).

IP17. “SiN_x Passivated GaN HEMT by Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition,” Takayuki Suzuki, Tomiaki Yamada, Ryosuke Kawai, Shohei Kawaguchi, Dongyan Zhang, and

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

Naotaka Iwata, The 43rd International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS), Toyama Japan, MoP-ISCS-086 (Jun. 27, 2016).

- IP18. “AlGaAs/InGaAs HEMTs Passivated with Atomic Layer Deposited SiO₂ using Aminosilane Precursors,” Takayuki Suzuki, Yousuke Takigawa, Naotaka Iwata, Zhang Dongyan, and Yoshio Ohshita, The 2015 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK2015), 10.1109/IMFEDK.2015.715, 8492, IEEE, Kyoto, Japan, (Jun. 4, 2015).
- IP19. “*In situ* XRD observation during various capping of InAs quantum dots by MBE,” K. Shimomura, H. Suzuki, T. Sasaki, M. Takahashi, Y. Ohshita, and I. Kamiya, 8th International Conference on Quantum Dots, May 11-15, 2014, Palazzo dei Congressi, Pisa, Italy, W122 (May 14, 2014).
- IP20. “nm-scaled workfunction mapping of the interfaces of silicon heterojunction (SHJ) solar cell using Kelvin probe force microscopy,” Fumihiko Yamada, Takefumi Kamioka, Tomihisa Tachibana, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita and Itaru Kamiya, 40th IEEE Photovoltaics Specialists Conference, June 8-13, 2014, Colorado Convention Center, Denver, CO, U.S.A. P.860 I26 (June 13, 2014).
- IP21. “Identification of trap states for two-step two-photon-absorption processes in InAs quantum structures for intermediate-band solar cells,” David M. Tex, Itaru Kamiya, and Yoshihiko Kanemitsu, 40th IEEE Photovoltaics Specialists Conference, June 8-13, 2014, Colorado Convention Center, Denver, CO, U.S.A., O.1028 (June 13, 2014).
- IP22. “Fabrication of New Vertical AlGaN Deep Ultra Violet Photo-detector on n⁺Si Substrate using Spontaneous Via Holes Growth Technique,” Kota Ozeki, Noriko Kurose, Naotaka Iwata, Kentaro Shibano, Tsutomu Araki, Itaru Kamiya, and Yoshinobu Aoyagi, 46th International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2014), September 8-11, 2014, Tsukuba International Congress Center, Japan, C-7-4 (September 11, 2014).
- IP23. “Influence of trapping processes on photocurrent generation efficiencies in quantum-dot intermediate-band solar cells,” D. M. Tex, T. Ihara, I. Kamiya, and Y. Kanemitsu, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), November 23-27, 2014, Kyoto International Conference Center, Japan, 1WePo. 1.13 (November 26, 2014).
- IP24. “Local workfunction mapping of interface on heterojunction Si solar cell using KFM,” Fumihiko Yamada, Takefumi Kamioka, Tomihisa Tachibana, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita and Itaru Kamiya, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), November 23-27, 2014, Kyoto International Conference Center, Japan, 4WePo. 7.55 (November 26, 2014).

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- IP25. “Local workfunction measurement of the interfaces of silicon heterojunction (SHJ) solar cell using Kelvin probe force microscopy,” Fumihiko Yamada, Takefumi Kamioka, Fukuhisa Tachibana, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita and Itaru Kamiya, Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2014 (Top-PV 2014), November 28-29, 2014, Hotel Marix, Miyazaki, Japan, A-1 (November 28, 2014).
- IP26. “Strain relaxation process of lattice mismatched InGaAs on miscut GaAs,” Daisuke Koderu, Toshiaki Nishi, Kazuma Ikeda Takuo Sasaki, Masamitsu Takahashi, Hidetoshi Suzuki, Hiroya Nakamura, Yoshio Ohshita, Nobuaki Kojima, Itaru Kamiya, Masafumi Yamaguchi, Korea-Japan Top University League Workshop on Photovoltaics 2014 (Top-PV 2014), November 28-29, 2014, Hotel Marix, Miyazaki, Japan, D-9 (November 28, 2014).
- IP27. “Local workfunction mapping of the interface between surface layers on the Si heterojunction (SHJ) solar cell on nm scale using Kelvin probe force microscopy,” Fumihiko Yamada, Takefumi Kamioka, Tomihisa Tachibana, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita and Itaru Kamiya, 2014 Fall Mat. Res. Soc. Symposium, November 30 – December 5, 2014, Hynes Convention Center, Boston, MA, U.S.A., PP 1.04 (December 1, 2014).
- IP28. “*In situ* XRD observation during modulated InGaAs capping of InAs quantum dots on GaAs(001) by MBE,” K. Shimomura, H. Suzuki, T. Sasaki, M. Takahashi, Y. Ohshita, and I. Kamiya, 2014 Fall Mat. Res. Soc. Symposium, November 30 – December 5, 2014, Hynes Convention Center, Boston, MA, U.S.A., OO 9.09 (December 4, 2014).
- IP29. “XRD transients during capping of different sized InAs quantum dots on GaAs(001),” K. Shimomura, H. Suzuki, T. Sasaki, M. Takahashi, Y. Ohshita, and I. Kamiya, 42nd Conference on Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces, January 18-22, 2015, Snowbird Ski & Resort, Snowbird, UT, U.S.A., Tu0930 (Jan. 20, 2015). (*10)
- IP30. “Tuning the emission wavelength from self-assembled InAs quantum dots on GaAs(001) to over 1.55 μm by controlling the cap and barrier layers,” K. Shimomura and I. Kamiya, 42nd Conference on Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces, January 18-22, 2015, Snowbird Ski & Resort, Snowbird, UT, U.S.A., We1150 (Jan. 21, 2015). (*10)
- IP31. “The reduction of Cu^{2+} and crystal growth processes during colloidal synthesis of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ nanoparticles,” Kazuki Morishita, Hiroyuki Suto, and Itaru Kamiya, 42nd IEEE Photovoltaics Specialists Conference, June 14-19, 2015, Hyatt Regency Hotel, New Orleans, LA, U.S.A., P.102.E21 (June 16, 2015).
- IP32. “Carrier dynamics of $\lambda > 1.55 \mu\text{m}$ PL from InAs quantum dots on GaAs(001),” K. Shimomura and I. Kamiya, Compound Semiconductor Week (CSW 2015), June 28 – July 2, 2015, UCSB, Santa Barbara, CA, U.S.A., We GN7.5 (July 1, 2015). (*10)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

- IP33. “Strain Control of InAs Quantum Dots on GaAs(001) by Molecular Beam Epitaxy,” K. Shimomura and I. Kamiya, 31st North American Molecular Beam Epitaxy Conference (NAMBE 2015), October 4-7, 2015, Iberostar Paraíso Beach Hotel, Riviera Maya, México. Mo-08 (October 5, 2015). (*10)
- IP34. “In situ XRD observation of strain in InAs quantum dots and InGaAs capping layers during MBE growth on GaAs(001),” Kenichi Shimomura, Hidetoshi Suzuki, Takuo Sasaki, Masamitsu Takahashi, Yoshio Ohshita, and Itaru Kamiya, The 9th International Conference on Quantum Dots (QD2016), May 22-27, 2016, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Korea, PM-058 (May 23, 2016). (*10)
- IP35. “Achieving long wavelength emission from self-assembled InAs quantum dots by MBE through strain control,” Kenichi Shimomura, Hidetoshi Suzuki, Takuo Sasaki, Masamitsu Takahashi, Yoshio Ohshita, and Itaru Kamiya, 33rd International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2016), Jul. 31-Aug. 5, 2016, Beijing International Convention Center, Beijing, China, Mo-P.028 (Aug. 1, 2016). (*10)
- IP36. “Upconverted photoluminescence in InAs/GaAs heterostructures,” Y. Zhang and I. Kamiya, 19th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2016), September 4 – 9, 2016, Le Corum, Montpellier, France, Tu-P-9 (Sep. 6, 2016).
- IP37. “Ring-like workfunction dip around In(Ga)As quantum dots,” T. Kobayashi, K. Takabayashi, K. Shimomura, Y. Zhang, F. Yamada, and I. Kamiya, 32nd North American Molecular Beam Epitaxy Conference (NAMBE 2016), September 18-21, 2016, Gideon Putnam Hotel, Saratoga Springs, NY, U.S.A., MoP12 (September 19, 2016).
- IP38. “Simulation of RHEED Intensity Transients during MBE Growth of InAs Quantum Dots on GaAs(001),” Kenichi Shimomura and Itaru Kamiya, 32nd North American Molecular Beam Epitaxy Conference (NAMBE 2016), September 18-21, 2016, Gideon Putnam Hotel, Saratoga Springs, NY, U.S.A., MoP14 (September 19, 2016). (*10)
- IP39. “The influence of substrate orientation on strain relaxation mechanisms of InGaAs layer grown on vicinal GaAs substrates measured by *in situ* X-ray diffraction,” Hidetoshi Suzuki, Takuo Sasaki, Masamitsu Takahashi, Yoshio Ohshita, Nobuaki Kojima, Itaru Kamiya, A. Fukuyama, T. Ikari, and Masafumi Yamaguchi, 26th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition (PVSEC-26), October 24-28, 2016, Marina Bay Sands Expo and Convention Centre (MBS), 1.1.2f (October 26, 2016).
- IP40. “Development of an AFM/KFM System Capable of Local Workfunction Mapping of Solar Cells under Light Illumination,” Fumihiko Yamada, Takefumi Kamioka, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita and Itaru Kamiya, 26th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition (PVSEC-26), October 24-28, 2016, Marina Bay

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

Sands Expo and Convention Centre (MBS), 2_4-0057 (October 27, 2016).

IP41. “Nanoscopic Analysis of Semiconductor Heterointerfaces by Kelvin Probe Force Microscopy (KFM),” Fumihiko Yamada, Tomohiro Kobayashi, Ko Takabayashi, Kenichi Shimomura, Yuwei Zhang and Itaru Kamiya, Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings & Interfaces (PACSURF 2016), December 11-15, 2016, Hapuna Beach Prince Hotel, Kohala Coast, HI, U.S.A., TF-WeM1 (December 14, 2016).

IP42. [Invited] “Understanding and Controlling Epitaxial Growth of Lattice Mismatched Materials Using InGaAs on GaAs,” Itaru Kamiya, Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG 2014), Holiday Inn Resort, Phuket, Thailand (Nov. 4 – 7, 2014) C11 (November 5, 2014).

IP43. [Invited] “Growth of InAs-based Quantum Structures and their Electronic Properties Controlled by Strain,” Itaru Kamiya, SemiconNano 2015, Lakeshore Hotel, Hsinchu, Taiwan (Sep. 6 – 10, 2015), I-39 (September 10, 2015).

IP44. “nm-scale Workfunction Measurements on the Interface between Si and Surface Layers on the Crystalline Si Solar Cell using Kelvin Probe Force Microscopy,” (Invited) Fumihiko Yamada, Takefumi Kamioka, Kyotaro Nakamura, Yoshio Ohshita, and Itaru Kamiya, Energy Materials Nanotechnology (EMN) Meeting on Vacuum Electronics, New York-New York Hotel & Casino, Las Vegas, NV, U.S.A. (Nov. 21 – 24, 2015), S05 (November 21, 2015).

IP45. “Epitaxial Growth of InAs-based Quantum Structures on GaAs,” (Invited) Itaru Kamiya, Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG 2015), Eaton Hotel Kowloon, Hong Kong, China (Dec. 13 – 17, 2015), D29 (December 16, 2015)

IP46. [Invited] “Photon upconversion using InAs-based quantum structures and the control of intermediate states,” Itaru Kamiya, David M. Tex, Yuwei Zhang, Toshiyuki Ihara, Yasuhiro Yamada, and Yoshihiko Kanemitsu, SPIE Photonic West, San Francisco, U.S.A. (Jan. 28 – Feb. 2, 2017), 10099-15 (Jan. 31)

【界面・電極制御による電力損失の低減 -有機電子素子】

IO1. “Kelvin probe force microscopy study of the graphene oxide and reduced graphene oxide sheets,” Hsin-Hui Huang, T. Ikeda, M. Yoshimura, 24th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM24), Honolulu, Hawaii (Dec. 14, 2016).

IO2. “Controlled growth of carbon nanotube forest and graphene by chemical vapor deposition,” M. Yoshimura, 6th Global Experts Meeting on Nanomaterials and Nanotechnology, Dubai, UAE (Apr. 21-23, 2016). (*11)

IO3. “Effect of atomistic defects introduced in HOPG on oxygen reduction reaction,” M.

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

Yoshimura, PGIS Research Congress 2016, Peradeniya, Sri Lanka, (Oct. 7-8, 2016).

<研究成果の公開状況>(上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等
ホームページで公開している場合には、URL を記載してください。

<既に実施しているもの>

シンポジウム 第1回 2015.8.3 開催, 第2回 2016.11.18 開催
Website : <http://www.toyota-ti.ac.jp/kenkyu/greenelement.html>

<これから実施する予定のもの>

シンポジウム 第3回 2017 年秋開催予定

14 その他の研究成果等

「12 研究発表の状況」で記述した論文、学会発表等以外の研究成果及び企業との連携実績があれば具体的に記入してください。また、上記11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付してください。

企業との共同研究

1. トヨタ自動車 2014/4/1-2017/3/31
熱制御技術の研究

2. 株式会社安永 2016/1/1-2018/3/31
高マンガンシリサイド(Higher Manganese Silicide, HMS)熱電変換材料・発電素子の高耐久化に関する研究

15 「選定時」に付された留意事項とそれへの対応

<「選定時」に付された留意事項>

「開発すべき物を明確にして、目的をもって研究開発するよう努めて頂きたい。」

<「選定時」に付された留意事項への対応>

素子としては、1)熱電材料、2)光電・電光変換素子、3)低エネルギー消費メモリー、に注力している。界面・電極技術の確立は、こうした素子開発・性能向上に寄与する基盤と位置づけている。更に、これらの二本柱を支えるのが、マイクロ・メソ、という大きさの異なるレベルでの構造制御という基礎技術である。素子、界面共に、この異なるスケールでの構造制御が実現して始めて成り立つ。

本研究センターには基礎研究から開発に近いところまで幅広いスタンスの人材・研究が取り込まれており、これらを有機的機能させるため、グループミーティングで、特に若手研究者による最新の研究成果の紹介等を行なう事で、アイデアの交流を図る様に工夫をしてくている。従って、目的物としては上述の3種の素子開発・改良を実現しつつ、これを支える基盤技術についても劣らず成果を挙げている。

ただ、外部評価委員との意見交換の中、こうした考え方が当初の申請書の中で上手く伝わっていない可能性があることに鑑み、本報告書、並びに研究遂行にあたりこうした考え方の整理を進めている。

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

16 施設・装置・設備・研究費の支出状況(実績概要)

(千円)

| 年度・区分 | 支出額 | 内 訳 | | | | | | 備考 |
|--------|---------|---------|---------|----------|-------|-----|--------|----|
| | | 法人負担 | 私学助成 | 共同研究機関負担 | 受託研究等 | 寄付金 | その他() | |
| 平成26年度 | 施設 | 0 | | | | | | |
| | 装置 | 0 | | | | | | |
| | 設備 | 137,401 | 52,847 | 84,554 | | | | |
| | 研究費 | 48,127 | 24,815 | 23,312 | | | | |
| 平成27年度 | 施設 | 0 | | | | | | |
| | 装置 | 0 | | | | | | |
| | 設備 | 37,908 | 12,636 | 25,272 | | | | |
| | 研究費 | 54,506 | 28,919 | 25,587 | | | | |
| 平成28年度 | 施設 | 0 | | | | | | |
| | 装置 | 0 | | | | | | |
| | 設備 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| | 研究費 | 52,554 | 29,741 | 22,813 | | | | |
| 総 額 | 施設 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 装置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 設備 | 175,309 | 65,483 | 109,826 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 研究費 | 155,187 | 83,475 | 71,712 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 総 計 | 330,496 | 148,958 | 181,538 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

17 施設・装置・設備の整備状況 (私学助成を受けたものはすべて記載してください。)

《施設》(私学助成を受けていないものも含め、使用している施設をすべて記載してください。)

(千円)

| 施設 の 名 称 | 整備年度 | 研究施設面積 | 研究室等数 | 使用者数 | 事業経費 | 補助金額 | 補助主体 |
|----------------|-------|-------------------|-------|------|------|------|------|
| 量子界面物性研究室・実験室 | 平成7年度 | 250m ² | 1 | 12 | 不明 | 0 | — |
| エネルギー材料研究室・実験室 | 平成7年度 | 250m ² | 1 | 35 | 不明 | 0 | — |
| 情報記録材料研究室・実験室 | 平成7年度 | 250m ² | 1 | 15 | 不明 | 0 | — |

※ 私学助成による補助事業として行った新增築により、整備前と比較して増加した面積

0 m²

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

《装置・設備》(私学助成を受けていないものは、主なもののみを記載してください。)(千円)

| 装置・設備の名称 | 整備年度 | 型番 | 台数 | 稼働時間数 | 事業経費 | 補助金額 | 補助主体 |
|-----------------------|------|--------------------------------------|----|---------|--------|--------|------|
| (研究装置) なし | | | | | | | |
| (研究設備) | | | | | | | |
| X線光電子分光装置 | 26 | アルバックファイ社 PHI5000 VersaProbeTI | 1 | 1500 h | 38,000 | 23,415 | 私学助成 |
| 全自動多目的X線回折装置 | 26 | Bruker D8 ADVANCE TKT | 1 | 1900 h | 12,960 | 7,959 | 私学助成 |
| 熱拡散率測定装置 | 26 | NETZSC LFA457 | 1 | 600 h | 18,468 | 11,383 | 私学助成 |
| 熱電物性測定装置用ヘリウム再凝縮デューワー | 26 | Quantum Design P935(A)SR | 1 | 17000 h | 27,999 | 17,214 | 私学助成 |
| 磁化率測定装置 | 26 | Quantum Design P525SR | 1 | 300 h | 10,999 | 6,756 | 私学助成 |
| フローティング型アルゴンイオン銃 | 26 | 04-370Z | 1 | 1000 h | 14,000 | 8,607 | 私学助成 |
| 小型・高性能エキシマレーザー | 26 | ExciStar XS-500-ArF | 1 | 1000 h | 8,495 | 5,241 | 私学助成 |
| フォトルミネッセンス(PL)マッピング装置 | 26 | PL-SMAP-RT100 | 1 | 1000 h | 6,480 | 3,979 | 私学助成 |
| 半導体エッチング装置 | 27 | RIE-101iPH | 1 | 124 h | 37,908 | 25,272 | 私学助成 |
| (情報処理関係設備) なし | | | | | | | |

18 研究費の支出状況 (千円)

| 年度 | 平成 | 26 | 年度 | 積算内訳 | |
|-----------------------------------|--------|----------|--------|--------------------------|--|
| 小科目 | 支出額 | 主な用途 | 金額 | 主な内容 | |
| 教 育 研 究 経 費 支 出 | | | | | |
| 消耗品費 | 12,904 | 研究用消耗品 | 12,904 | 原材料、高圧ガス、寒剤、薬品、光・電子・真空部品 | |
| 光熱水費 | 5,298 | 電気代 | 5,298 | 電気代 | |
| 通信運搬費 | 2 | 書類郵送 | 2 | 書類郵送 | |
| 印刷製本費 | 0 | | 0 | | |
| 旅費交通費 | 1,574 | 国内外出張旅費 | 1,574 | 国内学会参加、国際会議参加 | |
| 賃借料 | 10 | | 10 | | |
| 報酬・委託料 | 804 | 分析、ソフト保守 | 804 | 材料分析、ソフトウェア保守 | |
| 修繕費 | 6,769 | 装置設備修理 | 6,769 | MBE修理、透過型電子顕微鏡保守 | |
| 諸会費 | 281 | 学会参加費 | 281 | 学会参加費 | |
| (出版物費) | 31 | 雑誌・資料 | 31 | 洋雑誌、資料 | |
| 計 | 27,673 | | 27,673 | | |
| ア ル バ イ ト 関 係 支 出 | | | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 0 | | 0 | | |
| 教育研究経費支出 | 0 | | 0 | | |
| 計 | 0 | | 0 | | |
| 設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの) | | | | | |
| 教育研究用機器備品 | 20,454 | | 20,454 | プラズマモニター 他 | |
| 図書 | 0 | | 0 | | |
| 計 | 20,454 | | 20,454 | | |
| 研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出 | | | | | |
| リサーチ・アシスタント | 0 | | 0 | | |
| ポスト・ドクター | 0 | | 0 | | |
| 研究支援推進経費 | 0 | | 0 | | |
| 計 | 0 | | 0 | | |

(様式1)

| | |
|----------|----------|
| 法人番号 | 231023 |
| プロジェクト番号 | S1411027 |

(千円)

| 年 度 | 平成 27 年度 | | |
|-----------------------------------|----------|------------|--------|
| 小 科 目 | 支 出 額 | 積 算 内 訳 | |
| | | 主 な 使 途 | 金 額 |
| 教 育 研 究 経 費 支 出 | | | |
| 消 耗 品 費 | 9,388 | 研究用消耗品 | 9,388 |
| 光 熱 水 費 | 4,874 | 電気代 | 4,874 |
| 通 信 運 搬 費 | 11 | 書類郵送 | 11 |
| 印 刷 製 本 費 | 90 | 論文投稿、報告書印刷 | 90 |
| 旅 費 交 通 費 | 5,399 | 国内外出張旅費 | 5,399 |
| 賃 借 料 | 0 | | 0 |
| 報 酬・委 託 料 | 220 | 分析、ソフト保守 | 220 |
| 修 繕 費 | 5,532 | 装置設備修理 | 5,532 |
| 諸 会 費 | 1,234 | 学会参加費 | 1,234 |
| (出版物費・雑費) | 102 | 雑誌・資料 | 102 |
| 計 | 26,850 | | 26,850 |
| ア ル バ イ ト 関 係 支 出 | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 0 | | 0 |
| 教育研究経費支出 | 0 | | 0 |
| 計 | 0 | | 0 |
| 設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの) | | | |
| 教育研究用機器備品 | 20,992 | | 20,992 |
| 図 書 | 0 | | 0 |
| 計 | 20,992 | | 20,992 |
| 研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出 | | | |
| リサーチ・アシスタント | | | |
| ポスト・ドクター | 6,664 | | 6,664 |
| 研究支援推進経費 | | | |
| 計 | 6,664 | | 6,664 |

(千円)

| 年 度 | 平成 28 年度 | | |
|-----------------------------------|----------|------------|--------|
| 小 科 目 | 支 出 額 | 積 算 内 訳 | |
| | | 主 な 使 途 | 金 額 |
| 教 育 研 究 経 費 支 出 | | | |
| 消 耗 品 費 | 13,222 | 研究用消耗品 | 13,222 |
| 光 熱 水 費 | 3,474 | 電気代 | 3,474 |
| 通 信 運 搬 費 | 24 | 書類郵送 | 24 |
| 印 刷 製 本 費 | 94 | 報告書印刷、文献複写 | 94 |
| 旅 費 交 通 費 | 5,760 | 国内外出張旅費 | 5,760 |
| 賃 借 料 | 10 | 情報基盤センター利用 | 10 |
| 報 酬・委 託 料 | 784 | 分析、ソフト保守 | 784 |
| 修 繕 費 | 7,362 | 装置設備修理 | 7,362 |
| 諸 会 費 | 1,217 | 学会参加費 | 1,217 |
| (出版物費) | 179 | 雑誌・資料 | 179 |
| (雑費) | 31 | 学外研究者宿泊料 | 31 |
| (損害保険) | 12 | 海外出張保険料 | 12 |
| 計 | 32,169 | | 32,169 |
| ア ル バ イ ト 関 係 支 出 | | | |
| 人件費支出 (兼務職員) | 0 | | 0 |
| 教育研究経費支出 | 0 | | 0 |
| 計 | 0 | | 0 |
| 設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの) | | | |
| 教育研究用機器備品 | 15,998 | | 15,998 |
| 図 書 | | | |
| 計 | 15,998 | | 15,998 |
| 研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出 | | | |
| リサーチ・アシスタント | | | |
| ポスト・ドクター | 4,387 | | 4,387 |
| 研究支援推進経費 | | | |
| 計 | 4,387 | | 4,387 |

「グリーン電子素子・材料研究センター」 研究活動評価票

評価者 氏名： 青野 正和

所属・職名： 国立研究開発法人物理・材料研究機構（NIMS）

国際ナノアーキテクトニクス研究拠点（MANA）

（ご記入日：2017年 5月 25日）

本プロジェクトにおいては、エネルギー変換素子・材料に関し、熱電材料を一つの基軸として新しい構造による可能性の開拓を行なう一方、光電・電光変換素子、磁性メモリやナノカーボン材料に関しては、界面や電極構造の改善を通じた電子流の制御によりそれらの効率の向上を目指している。

概観すると、本センターで扱っているエネルギー変換・材料に関し、1) まずマイクロ若しくはメソスケールで基礎的な性能の確保を目指し、2) ここに材料系の開拓、組成などの改良、3) そして電極を中心とした表面・界面制御、という流れのもようである。

そうした中で、熱電材料に関しては、まだ材料系が実用に向けて手探り状態のなか、その材料選択から構造設計までの指針を立てるという大胆な試みをうまく進めている。

磁性メモリについては、スピンホール効果が従来と異なる挙動をする事を見出し、これに基づいて新規素子設計へ繋げるという取り組みを進めている。光電・電光材料については、歪制御に配慮した構造設計や波長の調整、また、電極構造の工夫によるキャリア損失の抑制と云った基礎的な内容を含みつつ、実用素子への展開をねらった取り組みとなっている。

ナノカーボン研究については、現在厳しい競争が繰り広げられているがやはり表面界面に留意してグラフェンの大面積化を図ったり、CNTの微細構造評価を行ったりと、ユニークな取り組みを進めている。また、少し配向性のYAGの合成という少々趣向の異なるテーマも進めている。

評価者の理解としては、熱電材料についてはかなり更地からの開拓、その他のエネルギー変換材料についてはかなり明らかになってきている課題に対し、本センターのメンバーがもつスキル、とくに界面に関わるスキルを中心にアプローチしている、という流れのようである。

評価者自身、長く国立研究所や大学で研究に携わってきたが、大学では単なる開発はそぐわないと考えており、本プロジェクトのように設計指針あるいは改良指針を見出すことを中心に、構造、材料、界面などからアプローチするというのが、大学の研究としてあるべき姿であろうと考えている。

一方で、目標としてこうした材料・素子の開拓や改良を明確に掲げており、「選定時」に付された留意事項に「開発すべき物を明確にして、目的をもって研究開発するよう努めて

頂きたい。」というものがあつたとの由であるが、数値目標あるいは物質名は必ずしも明確でないかも知れないが、方向性はしっかりしており、心配はないと判断する。また、複数のテーマを複数の教員が共同研究を進めている形態も評価できる。

論文・学会発表についても、3年終了時としては活発であると思う。期待として、5年終了時には、分野外の人でも知っている、というような成果が上がってほしい。

以上、本プロジェクトは良い進捗をしていると判断し、残りの2年間、さらに活発に成果を上げられることを期待する。

「グリーン電子素子・材料研究センター」 研究活動評価票

評価者 氏名： 竹田 康彦

所属・職名： (株)豊田中央研究所

環境・エネルギー2部 エネルギー変換材料研究室 室長

(ご記入日：2017年 5月 25日)

本プロジェクトは、エネルギー変換材料・素子に関し、マイクロ・メソの構造制御を中心に、材料選択や界面改良を行なうことにより、新規の材料・素子を得ること、変換効率向上・損失抑制を実現すること、或いはその指針を確立することを目的として展開されている。

1つの中心テーマは熱電材料・素子であると理解した。これにはまず適切な材料の探索が求められ、そのための理論的基礎の構築から行っている。その上で、材料の改良による性能向上を図っている。

その他の材料・素子は、どちらかと言うと既存の技術が存在するものの不十分であるため、それに伴う問題点の克服を中心に取り組んでいる模様である。例えば、太陽電池の損失の低減、格子不整合系材料の実用化、磁性メモリの低消費電力化、グラフェン実用化へ向けた大面積結晶成長、等が含まれているが、これらは既存技術に工夫を加えることによる機能の向上を図るというきらいが強い。これを、本プロジェクトでは構造制御と界面制御、というアプローチで実現しようとしており、幾つかのブレークスルー、若しくはそのタネが見られている。

評価者は企業の研究所に身をおいている。企業においては基礎よりも開発、実用化を追わねばならないことは当然であるが、時として、ブレークスルーをもたらすのは、基礎に立ち返って研究がなされた場合であることは身をもって経験している。その観点からは、設計指針を理論と併せて探索したり、単に素子の性能評価ではなく、基礎的な物性計測を中心に材料開拓を進めるというアプローチは必須であり、是非大学にお願いしたい処である。その意味では本プロジェクトは良い取り組みを進めていると考えている。

ここまでも学会や論文は活発に発表されている模様である。残りの期間も是非更に加速して優れた成果を出されることを期待する。