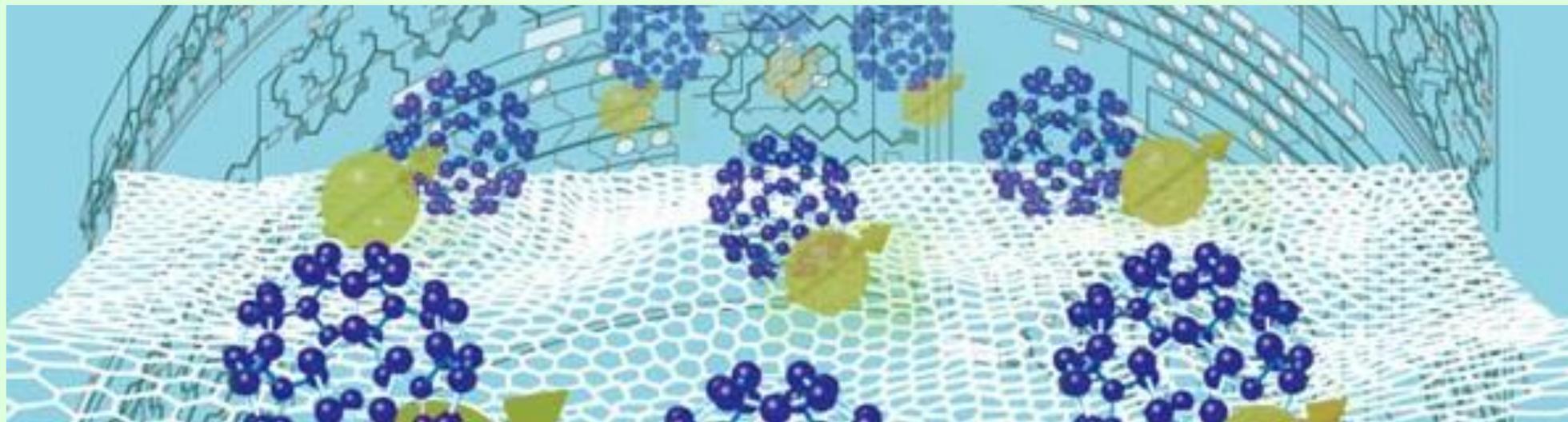


シンポジウム ポストスケーリング時代における次世代革新的  
デバイスおよび材料の探索

## 基礎研究が拓くポストスケーリング時代



JST・さがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料と  
プロセス」第2期生成果報告会を兼ねて

研究総括 佐藤勝昭

# はじめに

- 半導体デバイスにおいて主流となっているシリコンCMOS集積回路:
  - **これまで、スケーリング則に従って性能向上**
- 次世代デバイス: 環境やエネルギー消費に配慮しつつ高度な情報の処理・蓄積・伝達を実現するには、新しいコンセプト、新しい材料、新しいプロセスに基づいたデバイスが必要
  - ← **基礎研究に立脚した新しいコンセプトの開拓**
- **このシンポジウムの目的:**  
ポストスケーリング技術に挑戦するJSTさきがけ研究者たちとFIRSTプログラムやJST CRESTプログラム代表との交流を通じて、ポストスケーリング時代のデバイス研究の展望を図る



このシンポジウムを企画していただいた竹中充研究者(東大)に感謝します。

## さきがけ「次世代デバイス」の取り組み

- ・ 本研究領域は、CMOSに代表される既存のシリコンデバイスを超えるデバイスイノベーションを惹起するような材料・プロセスの開拓を目標としています。
- ・ そのための研究分野の候補として、
  - (1)スピントロニクス材料
  - (2)ワイドギャップ・ナノエレクトロニクス材料
  - (3)高温超伝導体を含む強相関材料
  - (4)ナノカーボン・有機エレクトロニクス材料を対象としました。

## 採択課題について

- 1期生：採択した11課題のうち7課題がスピントロニクスに関連していました。
- 2期生：ワイドギャップ、ナノエレクトロニクスの課題が半数を占めました。
- 3期生：分子・有機エレクトロニクス材料分野の採択課題が半数を占めました。

この結果3期全体を通じて所期の分野をカバーしました。

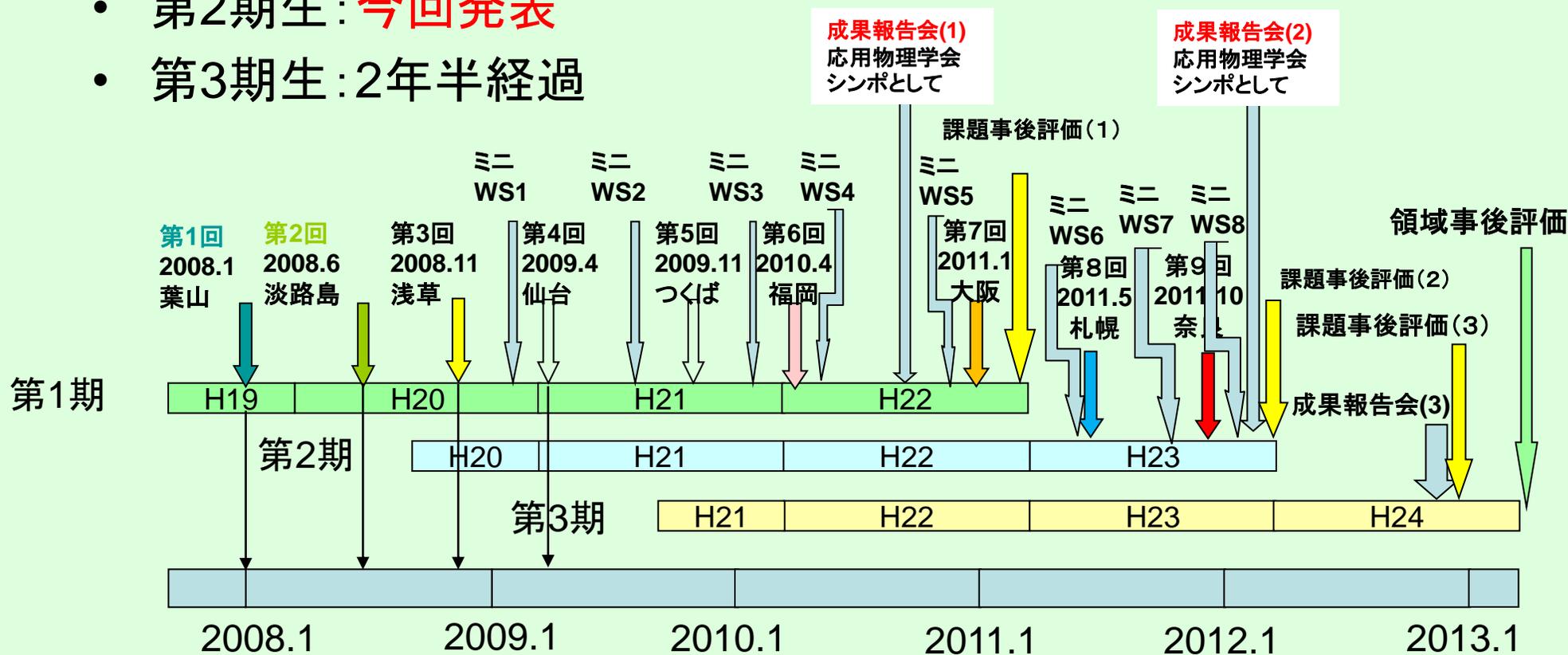
# 研究内容の分類マップ

青1期生、赤2期生、緑3期生

|                 | 酸化物<br>WG半導体<br>ダイヤモンド  | 半導体ナノ構造  | 金属・合金・複合  | 分子・有機   | アドバイザー                                  |
|-----------------|---|--|---|---|---|
| 強相関・超伝導エレクトロニクス | 川山(YBCO)  |  |   |   | 藤巻<br>波多野<br>岡本<br>谷垣                   |
| フォトニクス・フォトスピニクス | 片山(GaN, ZnO)  | 高橋_和   | 塚本(RE-TM alloy)   | 野口(OSET)  | 五明<br>小森<br>岡本                          |
| スピントロニクス        | 齊藤(YIG)<br>谷山(Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )<br>水落( <sup>13</sup> C, SiC)<br>福村(TiO <sub>2</sub> :Co)<br>中村(KTaO <sub>3</sub> ) | 浜屋(Si-QD spinFET)  | 高橋_有(heusler)<br>谷山(FeRh)<br>山口(metamaterial)<br>村上(Bi) | 白石(grapheme)<br>海住(Spin QC)   | 高梨<br>栗野<br>谷垣                          |
| ナノデバイス          | 須崎(MgO/STO)<br>組頭(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe, Mn酸化物)<br>東脇(III-O/III-N)  | 葛西(III-V nanowire)<br>深田(Si nanowire)<br>中岡(GaAs QD SET)<br>竹中(Ge nano LSI)<br>富岡(Si/III-V nanowire) |   | 若林(nanocarbon)<br>安田(PP V)<br>西永(C60/GaAs)<br>中野(OFET)<br>山本(Mott-OFET)<br>町田(graphene)<br>野口(OSET) | 五明<br>波多野<br>小田<br>小森<br>名西<br>栗野<br>谷垣 |
| サーモエレクトロニクス     | 小林(LCO/LSCO)  |  | 村上(Bi)  |   | 波多野<br>栗野                               |
| プロセス            | 寒川(ALN)   | 富岡(Si/III-V nanowire)  |   | 安田(OFET)<br>野田(nanocarbon)<br>中野(OFET)  | 工藤<br>名西                                |
| アドバイザー          | 藤巻、岡本、名西、栗野   | 小田、五明、波多野、小森、栗野、谷垣   | 高梨、谷垣   | 工藤、岡本、栗野、谷垣   |   |

# さがげ佐藤領域の歩み

- 第1期生: **卒業**
- 第2期生: **今回発表**
- 第3期生: **2年半経過**



# さががけ次世代デバイス第2期生(2008年度採択)



2年終了時点で  
FIRSTに採択

# 2008年度採択の研究課題

- 片山竜二(東大) 「極性ワイドギャップ半導体フォトリックナノ構造の新規光機能」
- 川山巖(阪大) 「ナノ構造制御した光生成磁束量子デバイスの創製」
- 寒川義裕(九大) 「オンチップ光配線用窒化物基板の創製とシステム熱設計支援」
- 小林航(早大) 「サーモエレクトロニクスを志向した基礎材料の開発」
- 須崎友文(東工大) 「ワイドギャップ酸化物における界面機能開発」
- 竹中充(東大) 「光配線LSI実現に向けたGeナノ光電子集積回路の研究」
- 中岡俊裕(東大) 「量子ドットを用いた単電荷・スピン・光機能融合デバイス」
- 浜屋宏平(九大) 「Si系半導体ナノ構造を基礎とした単一電子スピントランジスタの開発」
- 福村知昭(東北大) 「ワイドギャップ強磁性半導体デバイス」
- 水落憲和(筑波大) 「ワイドギャップ半導体中の単一常磁性発光中心による量子情報素子」  
(所属は採択時)

# 高いモビリティ

- 2009/4/1 片山竜二 東大新領域助教→東北大金研 准教授
- 2009/10/1 福村知昭 東北大金研 →同准教授  
2010/6/1 → 東大理学系 准教授
- 2010/1/16 浜屋宏平 九大システム情報科学助教 →准教授
- 2010/4/1 水落憲和 筑波大図書館情報講師→ 数理物質 講師  
2010/12/1 →阪大基礎工 准教授
- 2010/4/1 中岡俊裕 東大生研 特任准教授→ 上智大機能創造理工 准教授
- 2010/9/1 小林航 早大高等研 助教 →筑波大数理物質 助教

# 高いアクティビティ

- 福村知昭 平成21年度文部科学大臣表彰 若手科学者賞(2009)  
(財)トーキン科学技術振興財団 第19回研究奨励賞(2009)  
第7回学術振興会賞(2011)
- 浜屋宏平 第8回 船井情報科学奨励賞(2009)  
第23回 安藤博記念学術奨励賞(2010)  
平成22年度日本磁気学会論文賞(2010)  
第5回 日本物理学会若手奨励賞(2011)  
平成23年度 文部科学大臣表彰 若手科学者賞 (2011)
- 水落憲和 H21電子スピンスイエンズ学会奨励賞(2009)  
H22日本物理学会若手奨励賞(領域4)(2010)
- 寒川義裕 応用物理学会関係連合講演会 講演奨励賞(2010)
- 西永慈郎 応用物理学会学術講演会 講演奨励賞(2011)
- 中岡俊裕 平成24年度 文部科学大臣表彰 若手科学者賞(内定)

# プレス発表ほか

- 福村研究者  
「電圧で磁気を制御できる新しいトランジスターの開発に成功」  
というタイトルでプレス発表（JSTと東大・東北大との共同）  
日経産業、日刊工業、化学工業、科学新聞に掲載。
- 水落研究者とNTTの共同研究  
量子メモリーの原理実験に成功 – ダイヤモンドと超伝導量子ビットを直接組み合わせたハイブリッド系の量子状態制御に世界で初めて成功 –  
がプレス発表。この中で、「なお、今回の共同研究は、NTTの研究所の仙場浩  
—主幹研究員のグループと大阪大学の水落憲和准教授が量子情報処理プロ  
ジェクトの研究会でダイヤモンド量子メモリーについて議論をしたことがきっかけ  
で急展開しました。」と書かれております。  
日経産業、日刊工業、Asahi.com、マイコミジャーナルに掲載。
- 浜屋研究者の論文がApplied Physics LettersのHighlightsに選ばれ、APLの  
ホームページのトップページを飾りました。

## 2期生10名の研究成果紹介

- 光配線を目指す半導体プロセス・イノベーション:  
竹中(Ge)、寒川(AIN)
- 量子情報処理に向けたアプローチ:  
中岡(III-V)、水落(ダイヤモンド)、川山(HighTc)
- スピントロニクス、サーモエレクトロニクス  
浜屋(Siスピントロ)、福村( $\text{TiO}_2\text{:Co}$ )、小林(Bi)
- ナノ界面制御による新奇機能性  
片山(GaN)、須崎(MgO,  $\text{SrTiO}_3$ )

# 光配線を目指す半導体のプロセス・イノベーション

- **竹中研究者**: 界面制御がむずかしいとされたGeについてプロセスの革新を行い、**Ge-nMOSFET**において世界で初めて**シリコンを超える移動度**を達成しました。また暗電流の極めて少ない**Geフォトダイオード**をSi基板上に実現し、光配線へのステップを一歩進めました。
- **寒川研究者**: 光配線のための**高放熱、高輝度基板材料**として**AlN**に注目し、結晶成長プロセスの基礎研究を通じて**低転位密度のAlN単結晶成長**に道筋をつけました。

# 量子情報処理に向けたアプローチ

- 中岡研究者: InGaAs系量子ドットを使用した**単電荷光機能デバイス**を用いて、**量子もつれ状態**を実現するために重要なカスケード発光現象を確認したほか、このデバイスがゲート制御による**波長可変単一光子発生源**となる可能性を示しました。
- 水落研究者: ダイヤモンドにおける**NV中心**が室温で**電流注入**によって**単一光子発生源**として動作することを世界で初めて発見したほか、核スピンと電子スピンを結合した**多量子ビット量子演算デバイス**への道を開きました。また、NVスピンと超伝導量子ビットとの**量子もつれ状態**を確認するNTTの実証実験に協力しました。
- 川山研究者: 高温超伝導体の**ナノブリッジ**を用いた**光生成磁束量子デバイス**の実現にチャレンジしました。ナノブリッジ素子はジョセフソン接合素子に比べ高集積化が可能です。光応答速度を高めるための構造制御を行っています。

# スピントロニクス、サーモエレクトロニクス

- **浜屋研究者**: Siベースのスピントロニクスデバイスに挑戦し、MOSFET構造の3端子デバイスにおいて**室温でスピン信号のゲート電圧変調**に成功しました。この過程でスピン信号が観測できるためにはスピン流伝導が起きている必要はなく、電極の検出感度に依存するという事実を明らかにしました。
- **福村研究者** (2年目終了時点で**FIRSTに採択**):  $\text{TiO}_2:\text{Co}$ が室温において強磁性半導体特性を示すこと、その**磁気特性は室温において低い印加電圧によって制御可能**であることをイオン液体を用いた電圧印加実験を通じて初めて明らかにしました。
- **小林研究者**: 世界最高の熱整流比をもつ熱整流素子の開発を行ったほか、量子スピンホール効果をもつBiI<sub>3</sub>においてあらゆる材料の中で**最も大きな熱ホール効果**を発見しました。

## ナノ界面制御による新奇機能性発現

- 片山研究者: ワイドギャップ窒化物半導体を**非線形光学デバイス**として用いるために必要な位相整合構造作成に取り組み、極性反転構造による横型デバイスおよび平坦性の極めて高い誘電体を用いた縦型デバイスにおいて作製条件を確立しました。
- 須崎研究者: 異種の極性ワイドギャップ酸化物の接合界面制御による機能性発現に挑戦し、**MgOの界面制御**に成功したほか、**Au/SrTiO<sub>3</sub>ショットキー接合**において電流電圧特性に顕著な磁界依存性を発見しました。

## 招待講演

- 横山直樹(産総研、FIRST 研究代表者):  
「グリーンナノエレクトロニクスのコア技術」
- 名西懋之(立命館大、本領域アドバイザー):  
「窒化物半導体新領域開拓に向けての材料技術」
- 湯浅新治(産総研、もとさきがけ研究者):  
「磁気トンネル接合における磁気抵抗効果とスピントラン  
スファートルク」



本日のシンポジウムをお楽しみください。