島根大学プロジェクト研究推進機構 『重点研究部門』	平成１９年度	年度報告書	提出日 平成 20 年 2 月 25 日

① プロジェクト名	Ｓ－ナノテクプロジェクト		
② プロジェクトリーダー	廣光 一郎	所属	総合理工学部
		電子メール	hiromitu@riko.shimane-u.ac.jp

③ プロジェクトの概要（プロジェクトの最終年度における到達目標を簡潔に記入してください。）

本プロジェクトの目的は本学独自のナノテクノロジーの進展を図り，国際的に通用する研究拠点を形成すること，そして地域の新産業創成に貢献することである．以下の 4 つのサブテーマに分けて研究を行う．各サブテーマで扱う材料は，何れも本学が世界に誇れる作製技術を持ったものであり，各材料の更なる高性能化を達成し，実用につなげることを目標とする．

A. **酸化亜鉛**：酸化亜鉛薄膜の独自の作製技術を開発すると共に，酸化亜鉛を用いた新たな太陽電池・発光素子・医学実験用透明電極を開発する．

B. **新規強誘電体**：極めて優秀な強誘電特性を持つ $BaTi_2O_5$ 等の新規チタン酸バリウムについて，そのセラミックス，薄膜，単結晶の高性能化を達成し，製品開発に向けた企業との共同研究に結びつける．

C. **超伝導薄膜**：MgB_2 超伝導薄膜の高性能化を達成し実用化を図る．更に，得られた技術を他材料の開発に応用する．

D. **熱電変換材料**： Bi_2Te_3 系材料の熱電変換性能を向上させ，熱電変換製品の試作を行う．

④ プロジェクトのメンバー及び役割

氏名	所属（職）	本年度の役割分担
（酸化亜鉛グループ）		
廣光 一郎	総合理工学部(教授)	・プロジェクト統括 ・酸化亜鉛透明電極を用いた有機太陽電池の高性能化
藤田 恭久	総合理工学部(准教授)	・酸化亜鉛超微粒子からの薄膜作製条件の最適化と電流注入発光デバイスへの応用 ・酸化亜鉛超微粒子と薄膜の医学への応用 ・酸化亜鉛薄膜作製のための CVD 技術の開発
O. Senthil Kumar	プロジェクト研究推進機構 (研究員)	
田中 仙君	総合科学研究支援センター (教務職員)	ナノ構造導電性高分子と酸化亜鉛による電子・光機能デバイスの高性能化
伊藤 眞一	医学部(准教授)	酸化亜鉛を用いた動物実験用透明電極の開発
佐藤 守之	総合理工学部(教授)	・酸化亜鉛とホール輸送性高分子とのナノコンポジットの作製 ・ナノコンポジットを用いた発光デバイスの作製とその性能評価
山口 勲	総合理工学部(准教授)	
岡本 康昭	総合理工学部(教授)	ゼオライト細孔内への酸化亜鉛ナノ粒子の導入による新たな発光材料の開発
久保田 岳志	総合理工学部(助教)	
縄手 雅彦	総合理工学部(准教授)	ゼオライト細孔内のナノ粒子の物性に関する理論的研究
（強誘電体グループ）		
秋重 幸邦	教育学部(教授)	・新規強誘電体 $BaTi_2O_5$ セラミックスの高性能化．実用化の検討． ・$BaTi_2O_5$ 薄膜の電子デバイスへの応用 ・新規圧電体：KF 添加 $BaTiO_3$ の実用化の検討
徐 軍	プロジェクト研究推進機構 (研究員)	
（超伝導薄膜グループ）		
久保 衆伍	総合理工学部(教授)	MgB_2 超伝導薄膜の高性能化．実用化の検討
山田 容士	総合理工学部(准教授)	
梶川 靖友	総合理工学部(教授)	MgB_2 薄膜の成長技術を応用した高性能半導体薄膜の開発
小野 興太郎	総合理工学部(教授)	MgB_2 薄膜のイオン照射による高性能化と電子顕微鏡観察
宮本 光貴	総合理工学部(助教)	
（熱電変換材料グループ）		
北川 裕之	総合理工学部(准教授)	熱電変換材料の高性能化と実用デバイスの開発
大庭 卓也	総合理工学部(教授)	放射光X線による結晶学的評価．対象は熱電変換材料及び他のサブグループが扱っている材料
森戸 茂一	総合理工学部(准教授)	電子顕微鏡による結晶学的評価．対象は熱電変換材料及び他のサブグループが扱っている材料

⑤ 本年度の研究計画と目標（本年度当初の計画書に書かれた内容に沿って，計画と達成目標を箇条書きにしてください。）

A-1. 酸化亜鉛薄膜・超微粒子

- 窒素ドープ酸化亜鉛超微粒子のアニール特性の評価と生成条件の改善，電流注入発光素子の評価・改良.
- 蛍光標識やマイクロチップ電気泳動への医療応用技術（癌検診）に対応した酸化亜鉛粒子の生成と評価を行う.
- 昨年度新たに開発した直径数 nm の青色発光性酸化亜鉛ナノクリスタルの実用可能性を検討する.
- MOCVD 法によって作製した酸化亜鉛系単結晶薄膜について，アンドープキャリア濃度 $10^{16}cm^{-3}$ 台，p 型及び n 型のドーピング均一性 ±5%を達成すると共に，MgZnO 混晶を作製し，紫外線 LED やレーザーを実現するための課題を明らかにする.
- MOCVD のための液体気化による原料大量供給技術を開発する.
- 開発した MOCVD 装置及び周辺装置の一部を事業化する.

A-2. 酸化亜鉛と有機材料の複合デバイス

- 酸化亜鉛透明導電膜を用いた有機太陽電池について，薄膜の接合状態の最適化と安定性の検討を行う.
- 酸化亜鉛とホール輸送性高分子とのナノコンポジットの製造法と量産化技術の確立，デバイス製造技術の開発.

A-3. 酸化亜鉛薄膜を用いた医学実験用透明電極

- 昨年度開発した動物実験用酸化亜鉛透明電極が動物実験に使用可能なことを確認する.

A-4. 酸化亜鉛とゼオライトの複合材料

- ゼオライト細孔に内包された硫化亜鉛ナノ粒子の酸化処理により酸化亜鉛ナノ粒子を合成しその光学特性を明らかにする.
- ゼオライト中の酸化亜鉛ナノ粒子のエネルギーバンド構造を解析し，発光スペクトルを理論的に計算する.

B-1. $BaTi_2O_5$ セラミックス

- $BaTi_2O_5$ 微粒子を原料にして配向制御された緻密セラミックスを作製する方法を確立し，誘電率 1000 以上を得る.

B-2. $BaTi_2O_5$ 薄膜

- 昨年までの $BaTi_2O_5$ 薄膜の作製工程に改良を加え，膜の均質性を向上させる.

B-3. KF 添加 $BaTiO_3$ 単結晶

- 鉛フリー圧電体として有望な KF 添加 $BaTiO_3$ 単結晶の大型化に取り組み，1cm 角以上の大きさの単結晶を得る.

C-1.ナノ構造制御による MgB_2 薄膜の高臨界電流密度化

- ナノバブル欠陥あるいはナノサイズ非超伝導相の導入による，10 T 以上の高磁場下での臨界電流密度の増大.

C-2. プラスチックフィルム上への高品質 MgB_2 薄膜の形成

- 温度 20 K，磁場 10 T において 10^4 A/cm^2 台の臨界電流密度を有する MgB_2 薄膜を作製する.

C-3. MgB_2 薄膜の成長技術を応用した高性能半導体薄膜の開発

- 熱電半導体 Mg_2Si 薄膜を作製し，バルク体に匹敵する熱電変換効率を得る.
- プラスチックフィルム上に 250 cm^2/Vs 以上の電子移動度を持つ InAs 薄膜を形成する.

D-1. Bi_2Te_3 系熱電変換材料の高性能化

- メカニカルアロイング法により作製した Bi_2Te_3 系熱電変換材料に塑性加工を施し，材料の高性能化を図る.
- 作製した材料の微細構造，熱電特性，機械的特性を明らかにし，実用化の見通しについて検討する.
- 県内企業と連携して低温廃熱回収用熱電変換デバイスの開発を進める.

⑥ 計画の達成状況と自己評価

プロジェクト全体（自己評価A）：今年度の本プロジェクトの最大の使命は，過去3年間の研究成果を来年度以降の飛躍につなげていくことである．この1年間で，医工連携及び北テキサス大学との連携による新たなプロジェクトの構想を生んだこと，グローバル COE の申請を行ったこと，医学系研究科と総合理工学研究科への医・理工連携プログラムの開設を主導したこと，さらには地元自治体，企業と連携して文部科学省に都市エリア産学官連携促進事業の申請を行ったことなどから，プロジェクト全体としては自己評価Aとした.

A-1（自己評価B）

- 窒素ドープ酸化亜鉛ナノ粒子の破砕と遠心分離による粒径制御とアニール特性を把握し，エレクトロルミネッセンス素子を試作した．微粒子層のリーク電流については改良中．企業からの注目度が非常に高くなり産学連携による展開が広がってきた．地域企業，島根県との連携に発展し，本技術を中心的なテーマとして文部科学省の都市エリア産学官連携促進事業に申請した．また，窒素ドープ酸化亜鉛ナノ粒子の基本特許が成立し，登録された.
- 酸化亜鉛超微粒子の医療応用に対する評価を行い，微粒子の表面状態の改善を行っている．総合理工学部，医学部，立教大学，北テキサス大学間の連携により，グローバル COE を申請した.
- 直径数 nm の青色発光性酸化亜鉛ナノクリスタルが，退色せずに長時間にわたって安定に青色発光することを確認し，工業的および医学的な用途への展開の可能性を示した.
- MOCVD によりドーピング実験を行った．装置の改造作業のため均一性はまだ未達成であるが，透明導電膜に使用できる高濃度（$10^{21}cm^{-3}$）のガリウムドーピングを達成した．この成果は都市エリア産学官連携促進事業における地域企業との連携に重要な役割を果たした.
- 酸化亜鉛系薄膜 MOCVD 装置用の液体原料気化供給装置を開発し，島根大学に設置した．開発した装置は共同研究企業の製品ラインアップに載り，研究開発用装置として製品化された.

A-2（自己評価B）

- ガリウムドープ酸化亜鉛（GZO）薄膜を透明電極として用いた有機太陽電池は，空気中に数週間放置しておくことで，エネルギー変換効率が2倍近く向上して安定化する，という実用上極めて興味深い性質を持つことを見出した．また，GZO 表面の化学修飾により薄膜の接合状態を改善し，効率を 50%向上させることができた.
- 酸化亜鉛表面に導入した重合開始点からの原子移動ラジカル重合により，安定な青色発光性を持つポリカルバゾールと酸化亜鉛ナノクリスタルのナノコンポジットを再現性良く作製することに成功した.

A-3（自己評価B）
・本プロジェクトにより開発した透明電極を用いて，ラット大脳皮質からの電気生理学的信号と光信号を同時に長時間連続記録することを可能とし，自発神経活動および感覚刺激誘発性神経活動の解析を行う新しい研究方法を開発した.

A-4（自己評価B）
・ゼオライト細孔に内包された硫化亜鉛ナノ粒子を，細孔あたり硫化亜鉛原子2個の充填率で安定して得る画期的な方法を開発した.
・酸化亜鉛の超薄膜ナノ構造モデルを用いてバンド構造の層厚依存性及び配向依存性を理論的に調べた結果，10 原子層以下になるとバンド構造が直接遷移型から間接遷移型に変わり，発光特性が大きく変化するという予想が得られた.

B-1（自己評価B）
・スパークプラズマ焼成法を用いて b 軸配向した相対密度 95%以上の $BaTi_2O_5$ 緻密セラミックスを得ることに成功した. また，通常の焼成法でも相対密度 90%以上のセラミックスを得る方法を開発した.

B-2（自己評価B）
・従来の $BaTi_2O_5$ 薄膜作製過程に原料微粒子のボール・ミルや濾過過程を加えることで，膜質の改善を図った. その結果，透過率が 25%近く向上した. また，光触媒反応も確認できた. 企業との共同研究も進めている.

B-3（自己評価B）
・フラックス法での KF 添加 $BaTiO_3$ 単結晶の育成条件の最適化を行い，結晶の大型化（直径 5mm，長さ 3cm）を実現した. また，FZ 法による $BaTiO_3$ 単結晶育成方法を企業との共同研究により確立し，結晶育成時間を大幅に短縮した.

C-1（自己評価B）
・MgB_2 薄膜について，①He^+イオン照射によるナノサイズバブル欠陥導入，②薄膜表面ナノサイズ島状成長を利用した積層法によるナノサイズ非超伝導相の導入，の2つの手法により，温度 4.2 K，膜面垂直磁場 7 T の条件下での臨界電流密度を1桁以上増大させることに成功した.

C-2（自己評価B）
・Ti/Ag シード層の導入により，フレキシブル MgB_2 薄膜の膜質を向上させた. また，温度 5K，磁場 10T において 10^5 A/cm^2 以上の臨界電流密度を得た.

C-3（自己評価A）
・熱電半導体 Mg_2Si の薄膜を Al_2O_3-C 基板上にエピタキシャル成長させ，300℃付近の高温域でバルク体に匹敵するゼーベック係数 200 μV/K を得た. 中温域での特性の向上は今後の課題である.
・300℃以下の低い基板温度で InAs 多結晶半導体薄膜を形成し，ガラス基板上で 610 cm^2/Vs，プラスチックフィルム上で 460 cm^2/Vs の電子移動度を得た. 後者は，プラスチック上に形成された半導体の電子移動度としては最も高く，プラスチック上シリコン多結晶のトップテータのほぼ倍である.

D-1（自己評価B）
・Bi_2Te_3 系熱電材料に塑性加工を施し，熱電変換の出力因子を加工前の 3×10^{-3} Wm^{-1}K^{-2} から 5×10^{-3} Wm^{-1}K^{-2} にまで向上させることに成功した.
・県内企業と連携して熱電変換モジュールの開発を行った.

⑦ 公表論文，学会発表など

主な論文（査読つき論文 43 編から抜粋）

A-1
・O. Senthilkumar, K. Yamauchi, K. Senthilkumar, T. Yamamae, N. Nishimoto and Y. Fujita, "UV-Blue Light Emission from ZnO Nanoparticles", J. Korean Phys. Soc. in press.
・N. Nishimoto, T. Yamamae, K. Senthilkumar, O. Senthilkumar and Y. Fujita, "Growth of ZnO thin films by MOCVD with high speed rotating disk reactor", J. Korean Phys. Soc. in press.

A-2
・Y. Yoshida, S. Tanaka, I. Hiromitsu, Y. Fujita, and K. Yoshino, "Ga-doped-ZnO film as a transparent electrode for phthalocyanine/perylene heterojunction solar cell", Jpn. J. Appl. Phys., **47**, (2008), pp.867-871.

B-1
・J. Xu and Y. Akishige, "Synthesis and Dielectric Properties of KF-Doped $BaTi_2O_5$ Ceramics", Ferroelectrics. **356,** (2007), pp.24-30.
・J. Xu and Y. Akishige: "KF-doped $BaTi_2O_5$ Ferroelectric Ceramics by Solid State Reaction of KF and Sol-Gel-Derived $BaTi_2O_5$ Powders", Applied Physics A, **90**, (2008), pp.153-157.
・J. Xu and Y.Akishige: "Relaxor in KF-doped $BaTi_2O_5$ by Spark Plasma Sintering", Appl. Phys. Lett. **92,** (2008), 052902 (pp.1-3).

C-3
・M. Shiba, R. Ikariyama, M. Takushima, and Y. Kajikawa: "Properties of low-temperature grown InAs and their changes upon annealing", J. Crystal Growth, **301-302**, (2007),pp.256-259.
・M. Takushima, Y. Kajikawa, Y. Kuya, M. Shiba, and K. Ohnishi: "Low-temperature growth of InAs on glass and plastic film substrates", Jpn. J. Appl. Phys., **47**, (2008), in print.
・M. Takushima and Y. Kajikawa: "Excess As in low-temperature grown InAs", Physical Status Solidi (c), **5**, (2008), in print.

その他論文（査読なし）

B-1
・E. Walker, A. Neogi and Y. Akishige: "Utilization of Traveling Solvent Floating Zone Method in the Growth of $BaTi_2O_5$ Crystal", Memories of the Faculty of Education, Shimane University, **41**, (2007), pp.141-148.（注：E. Walker は北テキサス大学からの学生．）

学会発表 国際会議発表 43 件（内招待講演 3 件），国内学会等発表 95 件（内招待講演 18 件）

特許 9 件

A-1
・藤田恭久：「酸化亜鉛超微粒子および酸化亜鉛超微粒子の製造方法」，特許第 407262 号，登録日：平成 20 年 2 月 1 日
・栗田ふみ，福島英子，藤田恭久：「セラミックス膜，発光素子及びセラミックス膜の製造方法」，特願 2007-129294

・藤田恭久, 中村守彦:「蛍光標識剤および蛍光標識方法」, PCT/JP2007/73114
A-2 ・佐藤守之:「酸化亜鉛ナノクリスタルおよびナノコンポジット」, 特願 2007－214870
A-3 ・廣田秋彦, 伊藤眞一, 藤田恭久:「多点電極」, 特願 2008-015866
B-3 ・秋重幸邦:「KFを含有するチタン酸バリウム系圧電体またはその製造方法」, 特願 2007−122088
C-3 ・久保衆伍:「機能性チタン酸ストロンチウム結晶およびその製造方法」, 特願 2007-086538
・久保 衆伍, 山田 容士, 北川 裕之:「ホウ素(B)をドープしたアナターゼ型酸化チタン(TiO2)」, (2008 年 2 月大学承継決定, 3 月出願予定)
・梶川 靖友:「半導体多結晶薄膜及び半導体装置」, 特願 2007-322712

⑧ 外部資金の獲得状況, その他, 特筆すべき成果

(科研費)
・伊藤眞一 [特定]「ヒト中心溝吻腹側の痛覚関連野に対応するラット皮質領野の検索」19 年度 2,100 千円
・山口勲 [基盤C]「分子電線への応用を目指した非共有結合型π共役高分子組織体の構築」19 年度 1,950 千円
・秋重幸邦 [基盤B]「新規チタン酸バリウムの物性解明と実用化に向けたプロセス技術開発」19 年度 9,230 千円

(研究助成等)
・藤田恭久, 北原邦紀, 森谷明弘 「酸化亜鉛系薄膜成長用 MOCVD 装置の開発」JST 実用化のための育成研究, 古河機械金属(株), 日本パイオニクス(株), JST との共同研究(H18-20 年度), 19 年度 22,910 千円
・藤田恭久 共同研究, 日立金属(株), 19 年度 525 千円 (研究課題名は現時点で非公開)
・藤田恭久 「半導体ナノ粒子を用いた高輝度エレクトロルミネッセンスパネルの開発」受託研究, JST(シーズ発掘試験), 19 年度 1,980 千円
・藤田恭久 受託研究, サムスン横浜研究所(株), 19 年度 600 千円 (研究課題名は現時点で非公開)
・藤田恭久 受託研究, 住友電気工業(株), 19 年度 500 千円 (研究課題名は現時点で非公開)
・秋重幸邦 「チタン酸バリウム系圧電セラミックス(単結晶を除く)の開発」共同研究, セイコーエプソン(株), 19 年度 1,500 千円
・秋重幸邦 「ゼオライト単結晶基板上への新規チタン酸バリウム薄膜の作製と機能性評価」受託研究, しまね産業振興財団(しまね産学官協働推進事業可能性試験), 19 年度 1,750 千円
・秋重幸邦 「KF 添加チタン酸バリウムの比熱:単結晶および SPS セラミックス」東京工業大学応用セラミックス研究所, 一般共同利用研究 B, 19 年度 150 千円
・秋重幸邦(代表)「山陰の地域に根差したエネルギー環境教育プログラムの開発」資源エネルギー庁(エネルギー教育地域拠点大学), 19 年度 3,150 千円
・久保 衆伍 「Ti 系酸化物機能性薄膜応用のための製造方法に関する研究」受託研究, (財)しまね産業振興財団可能性試験, 19 年度 1,980 千円
・山田容士 「異方的複雑系酸化物の結晶成長機構解明と成長技術開発」寄付金, (財)中国電力技術研究財団, 19 年度 1,100 千円
・梶川靖友「ガラス基板上およびプラスチックフィルム上への InAs 薄膜の分子線成長」, 研究助成, 日本板硝子材料工学助成会, 19 年度 850 千円
・大庭卓也 特別教育研究経費「たたら製鉄におけるナノテクノロジーの結晶学的解明」(H20-22 年度), H20 年度 86,600 千円

(受賞)
・藤田恭久 Microsoft Innovation Award 2007, ナノテク・材料部門賞
・藤田恭久 島根大学研究功労賞, 酸化亜鉛関係の研究に対して
・秋重幸邦 島根大学研究功労賞, 新規チタン酸バリウム関係の研究に対して
・梶川靖友 島根大学優良教育実践表彰, 大学院生に対する教育実績に対して(S-ナノの研究も関係する.)
・指導学生の学会賞受賞 6 件(藤田 1 件, 岡本 2 件, 北川 1 件, 大庭 1 件, 森戸 1 件)

(出展)
・第 6 回産学官連携推進会議 「フレキシブル MgB_2 超伝導体の開発」, 2007 年 6 月 16－17 日, 京都国際会議場
・イノベーションジャパン 2007 大学見本市, 酸化亜鉛関係の展示と講演, 9 月 12-14 日, 東京国際フォーラム(東京)
・松江市環境フェスティバル「低消費電力で水銀フリーな一般照明装置の開発」, 10 月 7 日, くにびきメッセ(松江市)
・島根大学祭, 酸化亜鉛微粒子の電子顕微鏡観察の体験コーナー, 10 月 5-8 日
・21 世紀出雲産業見本市, 展示と講演, 2007, 11 月 10-11 日, 出雲ドーム(出雲市)
・鳥取･島根県新技術説明会(JST との共催), 強誘電体及び熱電変換材料に関する発表, 12 月 7 日, JST 東京ホール(東京)
・国際ナノテクノロジー総合展 nano tech 2008, 2 月 13-15 日, 東京ビッグサイト(東京)

(テレビ放映及び新聞報道)
・NHK 総合テレビ, 7 月 10-11 日,「しまねっと」,「おはよう島根」他, 酸化亜鉛薄膜成長用 MOCVD 装置の開発
・山陰中央新報 9 月 20 日, 11 面(山陰経済), 藤田准教授の Microsoft Innovation Award 受賞の記事
・化学工業日報 10 月 1 日, 7 面(科学技術面), 酸化亜鉛関連の記事
・山陰中央新報 12 月 22 日, 11 面(山陰経済),「ナノテク医工学 島大を世界拠点に」
・山陰中央新報 11 月 8 日, 新技術説明会での熱電変換材料の研究発表に関連した記事

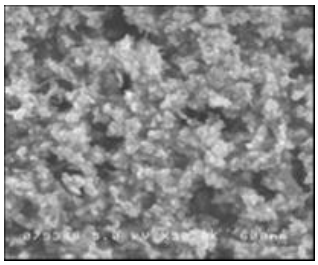
(その他)
・University of North Texas (UNT)から大学院生2名を受け入れ (6-7 月の 2 ヶ月間)
・UNT で開催された JSPS-UNT Winter School on Nanophotonics に学生 3 名を派遣(学生による口頭発表1件, ポスター発表 3 件), 2 月 14-15 日(渡航費用は学術振興会から)
・プロジェクトメンバーの田中仙君教務職員を University of Texas at Dallas に派遣 (9 月末から 6 ヶ月間)
・筒井哲夫教授(九州大学)講演会 「有機半導体エレクトロニクスの現在と未来」を共催, 6 月 22 日, 於 島根大学
・島根大学環境報告書 2007 の「環境研究成果の普及に関する活動」と「環境に貢献する研究事例」に記事掲載
・企業技術者向けのセミナーでの講演 2 件(共に東京で)
・「セラミックス誌」及び「サイエンスポータル 新技術紹介」への酸化亜鉛関係の記事の掲載

⑨ 本年度の主要な研究成果

酸化亜鉛ナノ粒子から発光デバイスを作製，さらに医療応用への道を開拓

酸化亜鉛は，安価な青色発光材料，透明導電膜材料として有望です．本プロジェクトでは島根大学のオンリーワン技術であるガス中蒸発法による窒素ドープ酸化亜鉛ナノ粒子（本年度基本特許を取得）を用い，液中で破砕・分散させ，遠心分離により 60nm 径の粒子を作製することに成功しました．その分散液を塗布して透明な薄膜デバイスを作製し，紫外線・青色領域での電流注入発光に成功しました．これらは安価で大面積な照明装置の開発に繋がる可能性があり，多くの企業から注目されるようになりました．また，癌細胞の検出等で注目されている半導体量子ドットに対し，毒性面で大きなアドバンテージをもつ酸化亜鉛ナノ粒子蛍光標識剤の特許を出願し，ナノメディスンにおいて島根大学の特徴的な技術へと発展させつつあります．

これらの成果は，地域企業との連携による都市エリア産学官連携促進事業と医工学連携によるグローバル COE の申請に繋がりました．

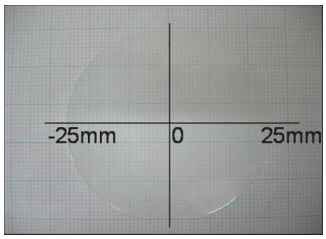


窒素ドープ酸化亜鉛ナノ粒子
（平均粒径 60nm）

酸化亜鉛超微粒子を薄膜化して作製したデバイスの電流注入発光

酸化亜鉛薄膜用MOCVD装置を事業化

酸化亜鉛単結晶薄膜は高効率な紫外線・青色発光ダイオードや半導体レーザの材料として期待されています．本プロジェクトでは，産学官連携によりこれらのデバイスの量産に対応できる酸化亜鉛用 MOCVD 装置の開発を進めています．本年度は MOCVD 装置本体に加えて亜鉛錯体などの安価な原料を有機溶媒に溶かして液体で搬送し，リアクタの直前で気化供給する装置を開発しました．これにより単結晶だけでなく透明導電膜などの大面積薄膜などへの応用を可能とし，装置の用途を拡大しました．これらの試作機は研究開発用装置として共同研究企業の製品ラインアップに載り，事業化に進展しました．本装置を用いた薄膜の評価としては低抵抗なガリウムドープ酸化亜鉛薄膜の成長に成功しました．この成果は地域連携による透明導電膜の開発に進展しようとしています．今後，この装置を用いた単結晶薄膜技術の開発とデバイスの開発などを進めていきます．

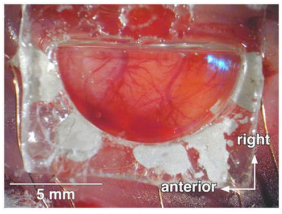


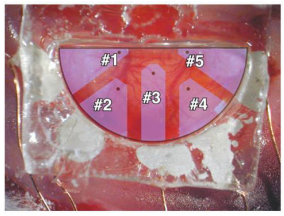
2インチサファイア基板上に成長した酸化亜鉛薄膜

独自の基板高速回転機構をもつ酸化亜鉛用 MOCVD 試作機の成長炉
（左上に気化器を設置）

安価な原料を大量に供給できる液体希釈原料気化供給装置

液体希釈原料気化供給装置に用いる有機溶媒にも対応した小型触媒過熱式排ガス処理装置

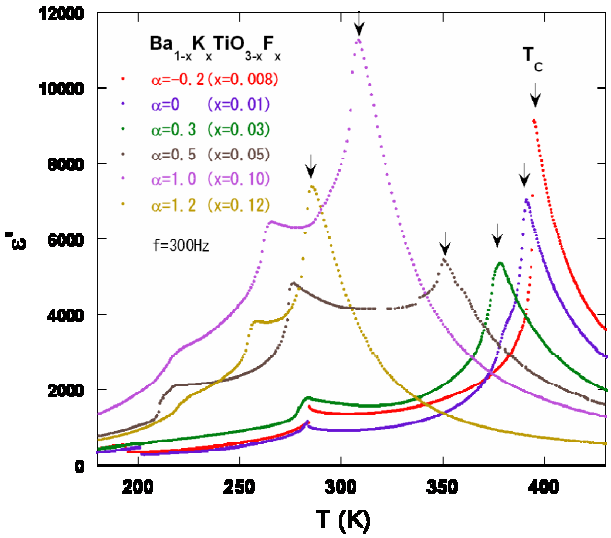




酸化亜鉛を用いた透明電極をラットの頭蓋骨に開けた穴に装着したところ．右はこの電極上の 5 枚の酸化亜鉛薄膜を可視化したもの．

酸化亜鉛薄膜を用いた医学実験用透明電極を開発

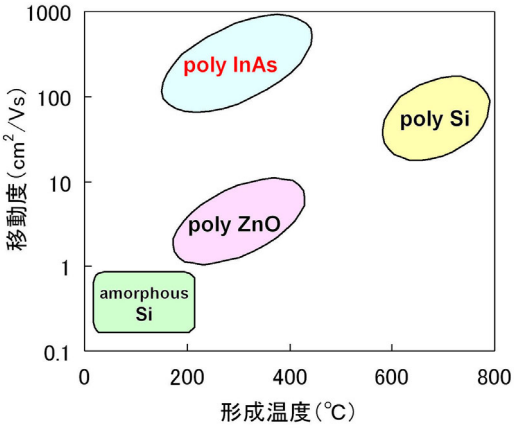
酸化亜鉛は透明電極用材料としても注目されています．本プロジェクトでは酸化亜鉛を医学実験用電極に応用しました．これにより，脳からの電気信号と光信号を同時に測定することが可能になりました．



KF 添加 $BaTiO_3$ の誘電率が KF 添加量に依存して変化していく様子．

鉛フリー圧電材料として注目を浴びているKF添加$BaTiO_3$の高濃度KF添加法を開発

本プロジェクトでは昨年度，KF 添加 $BaTiO_3$ が巨大な圧電定数を有することを見出し，新たな鉛フリー圧電材料の発見として注目を浴びました．今年度は高濃度の KF 添加を可能とし，KF 添加量と圧電特性，誘電特性との関係を明らかにし，巨大圧電率が発現するメカニズムを解明しました．



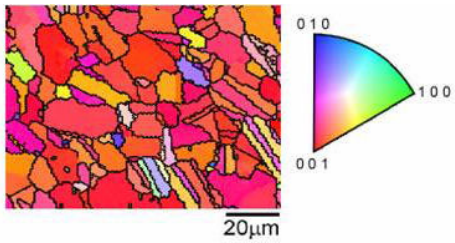
薄膜トランジスタ用半導体の形成温度と移動度の関係

薄膜トランジスタ用として有望なInAs多結晶薄膜の低温形成に成功

薄膜トランジスタ用半導体の特性の内で最も重視されるのが電子移動度です．本プロジェクトでは 300℃以下の低い基板温度で InAs 多結晶薄膜を形成し，ガラス基板上で 610cm^2/Vs，プラスチックフィルム上で 460cm^2/Vs の電子移動度を達成しました．後者は，プラスチック上に形成された半導体の電子移動度としては最も高く，高速でフレキシブルな薄膜トランジスタ用材料として有望です．

Bi_2Te_3系熱電変換材料に塑性加工を施すことにより，材料の高性能化を達成

熱電変換材料は温度差があれば発電します．逆に電気を流せば冷却や加熱を行うことができます．特に前者の熱電発電性は，京都議定書に基づく CO_2 排出量削減の必要性から，今年になってにわかに注目を浴びるようになってきました．本プロジェクトでは代表的な熱電変換材料である Bi_2Te_3 系材料の高性能化を達成しました．



塑性加工を施した $Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_3$ 熱電変換材料の結晶方位マップ．赤色に近い結晶粒が多いことは結晶配向していることを示しています．

⑩本研究プロジェクトの成果の公表計画について，なるべく具体的に記載してください。

・島根大学ナノテク研究会「島根大学S－ナノテクプロジェクト3年間の成果と今後の展望」，2008 年 3 月 17 日 13:00−17:00，島根大学総合理工学部3号館2階多目的ホール（松江市）
・藤田恭久，新化学発展協会電子情報技術部会 微粒子・ｸﾗｽﾀ WG 講演会，「酸化亜鉛ナノ粒子・薄膜の作製技術と応用展開」，H20 年 3 月 10 日，東京
・その他学会発表，論文執筆予定多数