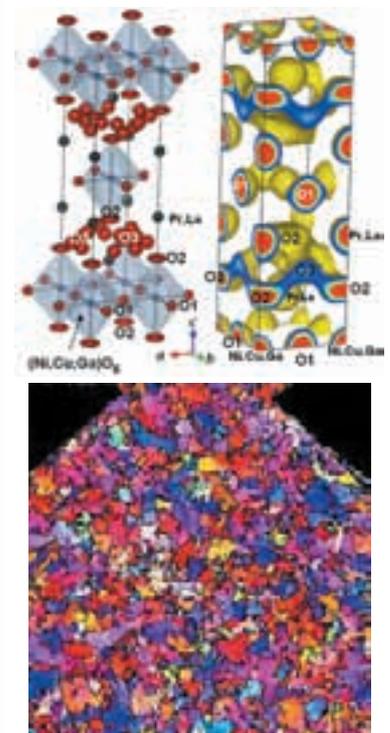
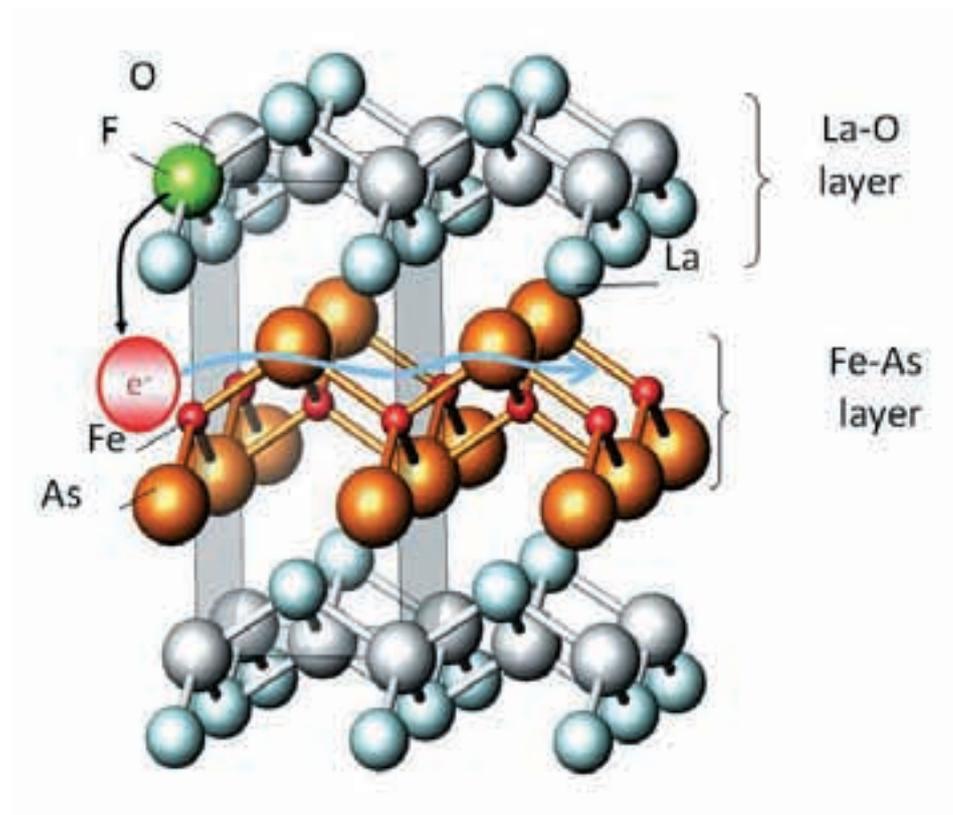


東京工業大学大学院総合理工学研究科

材料物理学専攻要覧



東京工業大学大学院総合理工学研究科
材料物理学専攻

Department of Materials Science and Engineering
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering
TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY

<http://www.materia.titech.ac.jp>

～ナノが創る機能から宇宙開拓まで～

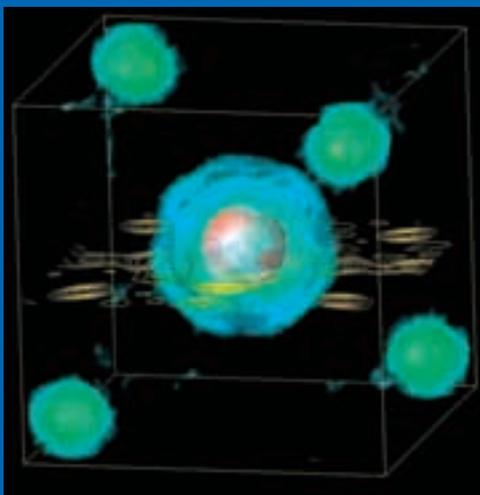
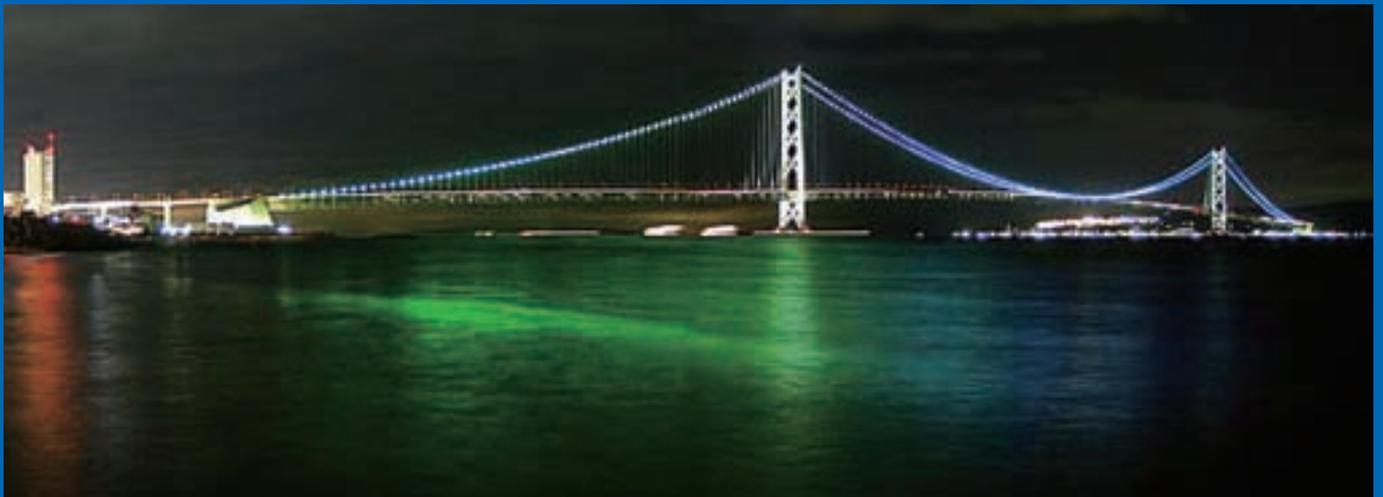
石器から青銅器、鉄器へと、人類の歴史は材料の歴史でもあった。21世紀に入った今、科学技術の進歩は更に加速し、飛躍的な発展を見せている。全長4,000mにも迫る橋、高さ500mを超える超高層ビルを見ても驚きを感じなくなったのはいつの頃からであろうか。家に帰ると、一世代前のスーパーコンピュータにすら迫る性能を発揮するパーソナルコンピュータが当たり前のように置いてある。通信媒体は銅線から光ファイバーに置き換わり、世界中の情報を瞬時に知ることが出来るようになった。変換効率の高い太陽電池や光触媒は、ますます深刻になっているエネルギー問題、環境問題を解決する救世主になると期待されている。

科学技術の革新的な発展の鍵を握っているのは材料である。新たに発見された基本原理や独創的なアイデアに基づいた「技術」を実現するためには、それに相応しい機能と性能を持つ材料が必要である。しかしながら、そのような都合の良い材料がすでに存在しているケースは極めて少ない。新しい技術の実現は、常に材料の開発に大きく依存している。

「材料を制するものが未来技術を制する」と言われるゆえんである。材料に求められる性能・機能は、年を追って多様化している。その要請に応えるには、材料学に対する深い基礎知識と異分野も見渡すことのできる幅広い視野が必要である。

材料物理学専攻は、材料物性、計測、構造解析、表面科学、材料設計などの材料物理学の基礎に関する教育と最新鋭の研究設備を駆使した世界的水準の研究を通して、未来を創る意欲と資質を備えた研究者・技術者を養成する。

人を結ぶ材料



夢を拡げる材料

CONTENTS

材料物理学専攻の組織	1
材料物理学専攻の指導教員および研究内容	2
材料物理学専攻の教育と研究	4
●教育・研究の理念, ●具体的な指針, ●修了後の進路	
●授業科目名, ●充実した学生支援体制と設備, ●グローバルCOEプログラム	5
教育および研究活動	
尾中 晋 教授	6
加藤 雅治 教授	7
梶原 正憲 准教授	8
三島 良直 教授	9
木村 好里 准教授	10
平山 博之 教授	11
熊井 真次 教授	12
八島 正知 准教授	13
林 克郎 准教授	14
須崎 友文 准教授	15
伊藤 満 教授	16
谷山 智康 准教授	16
佐々木 聡 教授	18
川路 均 准教授	19
細野 秀雄 教授	20
神谷 利夫 准教授	20
岡田 清 教授	22
阿藤 敏行 准教授	23
肥後 矢吉 教授	24
曾根 正人 准教授	25
若井 史博 教授	26
赤津 隆 准教授	27
高柳 邦夫 教授	28
山本 直紀 准教授	29
内海 研一 教授	30
吉永 直樹 准教授	31
日比野浩樹 教授	32
五十嵐信行 准教授	33
蟹澤 聖 准教授	34
平成19年度修士課程修了生論文題目	35
平成20年度修士課程修了生論文題目	36
在学生の活躍状況, 入試情報	37

材料物理学専攻の組織

本専攻は平成21年4月1日現在、2つの基幹大講座と8つの協力講座からなる。基幹講座は専任教員8名と客員教員（連携）5名、協力講座は合計14名の教員から構成されている。

講座名	分野名	教授	准教授
材料構造機能	複合物性	尾中 晋	
	メゾスコピック構造機能特性	加藤 雅治	梶原 正憲
	材料応答	三島 良直	木村 好里
	[連携講座]	内海 研一	吉永 直樹
量子表面	表面物質	平山 博之	
	非平衡相	熊井 真次	八島 正知
	量子材料	日比野浩樹	五十嵐信行 蟹澤 聖
低負荷物質合成			林 克郎 須崎 友文
超環境物質合成		伊藤 満	谷山 智康
精密構造解析		佐々木 聡	川路 均
電子活性物質			神谷 利夫
相乗機能物質		岡田 清	阿藤 敏行
材料機能評価		肥後 矢吉	曾根 正人
材料構造設計		若井 史博	赤津 隆
物質フロンティア		細野 秀雄	

専攻ホームページアドレス : <http://www.materia.titech.ac.jp>

材料物理学専攻の指導教員 および研究内容

頁	指導教員	教員室	内線	研究内容
		E-mail		
6	教授 尾中 晋	好奇心から始めよう		材料の力学物性、複相材料の高強度化、材料組織の形成と遷移、変形と破壊の理論解析（マイクロメカニクス）
		J2-1505	5564	
		onaka.s.aa@m.titech.ac.jp		
7	教授 加藤雅治	「優しさ」のための「なぜ？」を追求する		機能及び構造材料の組織と性質の関係、力学的性質と相変態、微粒子や薄膜の材料科学
		J2-1407	5633	
		kato@materia.titech.ac.jp		
8	准教授 梶原正憲	環境と調和する新材料の開発		電子デバイス用導電性合金の開発と評価・解析、反応拡散による超伝導合金の開発と評価・解析、環境配慮型合金の開発と評価・解析
		J2-1409	5635	
		kajihara@materia.titech.ac.jp		
9	教授 三島良直	エネルギー有効利用技術のための材料開発		金属間化合物の組織・構造制御による耐熱構造用材料ならびに熱電半導体の材料設計
		G3-522	5612	
		mishima.y.ab@m.titech.ac.jp		
10	准教授 木村好里	地球に優しく材料の機能をデザインする		廃熱を電気に一熱電半導体の高性能化、信頼性と性能の向上一耐熱合金の強靱化、組織制御による材料設計一相平衡と拡散
		G3-518	5157	
		kimura.y.ac@m.titech.ac.jp		
11	教授 平山博之	Wave Function Engineering		表面界面の構造と局在電子状態、ナノ構造による量子閉じ込め
		J1-409	5637	
		hirayama.h.aa@m.titech.ac.jp		
12	教授 熊井真次	強くて優しい社会基盤材料をつくる		軽量金属材料の組織と力学的特性（疲労・破壊）、同種・異種材料の接合と界面構造解析、急冷凝固プロセスによる合金の組織制御とリサイクル
		G3-620	5622	
		kumai.s.aa@m.titech.ac.jp		
13	准教授 八島正知	エネルギー・環境・バイオ・電子・構造材料、触媒の結晶構造と電子を調べる		高温での構造物性/精密結晶構造解析、中性子/放射光X線回折/散乱、無機系新素材、燃料電池、リチウム電池、バンド計算、電子材料、ナノ粒子、状態図、磁性、熱電材料
		J2-1403	5630	
		yashima@materia.titech.ac.jp		
14	准教授 林 克郎	環境と資源の世紀のための機能セラミックス材料とデバイス		固体イオニクス: 固相-気相 電子・イオン・ラジカル輸送、燃料電池 固体物理化学: ナノポーラス構造、活性陰イオン、機能性セラミックス
		R3-303	5337	
		k-hayashi@lucid.msl.titech.ac.jp		
15	准教授 須崎友文	酸化物界面の物理：持続可能社会のためのナノ電子材料開発		物性物理学、固体物理学、セラミックス界面工学、酸化物エレクトロニクス・デバイス、光電子分光、セキュアマテリアル、資源戦略、環境負荷低減
		R3-305	5360	
		susaki@msl.titech.ac.jp		
16	教授 伊藤 満	酸化物の新機能探索		固体化学による新規機能性酸化物の開拓一強誘電性、圧電性、電気磁気、強磁性、電子伝導性、およびイオン伝導性酸化物一
		J2-703	5354	
		Mitsuru_ltoh@msl.titech.ac.jp		
16	准教授 谷山智康	ナノ磁性物理とスピントロニクス		ナノスケール磁性、磁性体・半導体・誘電体ヘテロ構造における磁性制御、フェムト秒レーザー時間分解スピンドYNAMIX、スピントロニクス
		J2-707	5632	
		taniyama@msl.titech.ac.jp		
18	教授 佐々木聡	身近な材料で自然の世界を覗く		構造物性と電子磁気状態、放射光 X 線の回折散乱分光、計算物理
		J1-508	5308	
		sasaki@n.cc.titech.ac.jp		
19	准教授 川路 均	機能性物質の相転移機構を探る		乱れた構造を持つ物質における相転移現象、機能性物質の物性と構造の相関
		J1-701	5313	
		kawaji@msl.titech.ac.jp		

頁	指導教員	教員室	内線	研究内容
		E-mail		
20	教授 細野秀雄	自分たちが創った材料で世界を席巻する		透明酸化物半導体 (LED、磁性半導体、ディスプレイ)、 自然ナノ構造を活用した機能開拓 (触媒、発光、半導体)、 機能材料の電子状態の測定と解析 (光電子分光、パルス ESR)
		J1-606	5359 hosono@msl.titech.ac.jp	
20	准教授 神谷利夫	酸化物特有の機能を活かした新半導体デバイスの開発		半導体物性・デバイス (FET、FED、ナノデバイス)、 計算機シミュレーションによる材料解析・設計
		J1-615	5357 kamiaya.t.aa@msl.titech.ac.jp	
22	教授 岡田 清	色々なことに興味を持つ		セラミックス原料、鉱物化学、無機材料工学
		R3-501	5323 okada@msl.titech.ac.jp	
23	准教授 阿藤敏行	ナノスケールで起こる物質変化のリアルな描像		固体化学、超高压力、相転移、衝撃圧縮
		R3-310	5393 atou@msl.titech.ac.jp	
24	教授 肥後矢吉	ナノ・マイクロで創造する新しい MEMS 材料の世界		方位制御ならびに自己組織化ナノ構造材料の開発とその評価法の開発
		R2-920	5044 yhigo@pi.titech.ac.jp	
25	准教授 曾根正人	ナノマテリアルの新規創製技術の開発および材料組織解析		MEMS 用超微細システムのための材料製造プロセス開発、それにより得られた材料の評価法の開発
		R2-918	5043 msone@pi.titech.ac.jp	
26	教授 若井史博	ナノ・マイクロ世界の驚きを探求するセラミックス構造設計		セラミックス超塑性と粒界ネットワーク・ダイナミクスが切り拓く 21 世紀のセラミックスの世界
		J1-612	5361 wakai@msl.titech.ac.jp	
27	准教授 赤津 隆	局所高応力場で視るセラミックスの破壊と変形		セラミックスおよびセラミック複合材料の破壊と変形
		R3-311	5336 Takashi_Akatsu@msl.titech.ac.jp	
28	教授 高柳邦夫	ゆったりと学ぼう		固体表面とナノスケール物質の構造、量子化伝導、電子状態の研究
		大岡山本館124	03-5734-2078 takayang@phys.titech.ac.jp	
29	准教授 山本直紀	電子プローブにより金属・半導体ナノ構造の新物性を探索する		電子顕微鏡、STM による半導体ナノ構造の発光解析と表面光物性
		大岡山本館135	03-5734-2481 nyamamot@phys.titech.ac.jp	
30	教授 内海研一*	物性物理を通して、科学の意味・人間社会との関わりを学ぶ		物性理論、結晶理論、相変態理論
		ken-Utsumi@jcom.home.ne.jp		
31	准教授 吉永直樹*	鉄のすばらしい性質を極限まで引き出すー理想の組織を求めてー		金属組織学、鉄鋼材料工学
		yoshinaga.naoki@nsc.co.jp		
32	教授 日比野浩樹*	半導体表面にナノ構造を自在につくり、新たな機能を生み出す		表面物性、表面ナノ構造、自己組織化、薄膜成長
		hibino@will.brl.ntt.co.jp		
33	准教授 五十嵐信行*	半導体デバイス研究開発の最前線		電子顕微鏡、半導体超微細構造評価
		n-ikarashi@cq.jp.nec.com		
34	准教授 蟹澤 聖*	量子材料で新分野を開拓する		半導体電子物性、結晶成長、表面物理
		kani@will.brl.ntt.co.jp		

氏名右上に * 印のある教員は、学生の配属は原則として博士後期課程からとする。
また、電話番号は上記の内線番号に「045-924」を付け「045-924-5637」のようにする。

専攻ホームページアドレス：<http://www.materia.titech.ac.jp>

材料物理学専攻の教育と研究

●教育・研究の理念

- 1) 旧来の物理学、金属学、応用化学などの区分を飛び越え、様々なバックグラウンドを持ったスタッフと学生諸君が一丸となり、学際的な視野から新しい材料科学の領域を切り開く。
- 2) 能力と意欲に溢れた学生諸君を、物質・材料の物性に対する深い知識を身につけ、新しい物性を予測的に確に材料開発が推進できる若い研究者、技術者に育て、我国の科学・技術の根幹を担う人材として材料科学技術開発の最前線に送り出す。

●具体的な指針

- 1) 学生諸君が将来、材料科学技術の最先端で学際的な研究開発を行う時に必要な固体物性、金属強度、化学熱力学などの基礎、コンピューターによる物性予測、および国際社会で不可欠な英語プレゼンテーション能力を体系的なカリキュラムの中でしっかり身につけさせる。
- 2) 各研究室での材料科学の最先端の問題に関する修士論文、博士論文研究を通して、物質・材料に対する知識を、現実のさまざまな具体的問題を解明、解決できる能力に昇華させる。

●修了後の進路

材料物理学専攻と東京工業大学では就職支援活動に力を入れています。
多くの修了生が社会で活躍しています。

最近4年間の修士課程修了者の進路

平成20年度 修士課程修了生 (予定)	平成19年度 修士課程修了生	平成18年度 修士課程修了生	平成17年度 修士課程修了生
IHI JFEスチール (2) NTTデータ アルバック 京セラ 神戸製鋼所 コスモ石油 シャープ 新日本製鐵 大同特殊鋼 太陽インキ製造 東京都 東芝 (3) 東邦チタニウム 東レ トヨタ自動車 トヨタテクニカルディベロップメント 日鉱金属 日立製作所 富士通 富士プレイントラスト(富士電機) 古河電気工業 本田技研工業 (3) 丸紅 三菱重工業 (3) 三菱商事 三菱マテリアル ルネサステクノロジ 日立グローバルストレージテクノロジーズ 博士後期課程進学 (4)	JR 東日本 TDK (3) カシオ計算機 キヤノン コーニングジャパン コニカミノルタホールディングス シーケー金属 シャープ (2) セイコーエプソン トクヤマ トヨタ自動車 ニコン ボッシュ (2) ヤマハ ルネサステクノロジ (2) ローム ワークスアプリケーションズ 伊藤忠テクノソリューションズ 古河電気工業 三菱化学 三菱重工業 (3) 三菱電機 住友電気工業 新日本製鐵 神戸製鋼所 石川島播磨重工業 川崎重工業 総務省 大日本印刷 第一稀元素化学工業 東芝 (2) 東芝電子管デバイス 凸版印刷 日本技術貿易 日本製鋼所 日本電気 日立製作所 富山村田製作所 富士通 (2) 豊田自動織機 本田技研工業 (2) 野村證券 博士後期課程進学 (2)	JFE スチール いすゞ自動車 (3) インクスエンジニアリングサービス キヤノン (2) コニカミノルタホールディングス コマツ シマノ シャープ (2) セイコーエプソン ダイキン工業 トヨタ自動車 フジクラ プリヂストーン ボッシュ 京セラ 古河電気工業 三菱マテリアル 三菱重工業 (2) 三菱電機 住友生命保険 昭和電工 松下電器産業 松下電工 信越化学工業化学 新日本製鐵 (3) 大同特殊鋼 大日本印刷 (2) 凸版印刷 (2) 日鉱金属 日産自動車 日本精工 日野自動車 富士写真フイルム 豊田自動織機 (2) 博士後期課程進学 (3)	石川島播磨重工業 富士重工業 日野自動車 (2) フジクラ (2) 日産自動車 新日本製鐵 大同特殊鋼 三菱電機 東海カーボン NOK (3) 東陽テクニカ 中学校教員 トヨタ自動車 富士通 プリヂストーン TDK 三菱重工業 神戸製鋼所 村田製作所 東陶機器 本田技研工業 (2) 凸版印刷 東邦テナックス 材料物理学専攻 コニカミノルタ 三菱化学 旭硝子 (2) 東洋製罐 材料物理学専攻 大日本印刷 セイコーエプソン 松下電器産業 富士通日立プラズマディスプレイ 豊田自動織機 日立製作所 川崎重工業 日本ビクター ルネサステクノロジ YKK 山陽特殊製鋼 博士後期課程進学 (12)

授業科目名

英語やプレゼンのスキルから材料、物理、化学の基礎からナノ科学の応用まで幅広く、深く学べるカリキュラムが充実しています。

材料物理学英語プレゼンテーション 第一、同第二、結晶科学、固体の変形と力学、材料組織学、材料強度学、固体物性Ⅰ:電子物性、同Ⅱ:磁性、同Ⅲ:誘電体物性、同Ⅳ:熱物性、同Ⅴ:半導体物性、相平衡の熱力学、拡散・反応・相転移、人間社会と材料、計算材料学、エネルギー・環境材料、ナノ材料テクノロジー、表面科学入門、電子顕微鏡および回折、材料物理学講究第一～第十、材料物理学特別講義 第一～第六、材料物理学専攻インターンシップ第一A、同第一B、同第二A、同第二B、材料物理学派遣プロジェクト第一、同第二、プロジェクトマネージング特論 第一～第四、グローバルコミュニケーションスキル特論 第一、同第二、ナノマテリアル特論第一～第三、Science & Engineering of Solidification, Characteristics & Applications of Intermetallic Alloys, Lattice Defects & Mechanical Properties of Materials, Diffusion in Alloys, Advanced Course in Environmental Aspects and Porous Materials など

充実した学生支援体制と設備

学生支援センター、各種奨学金、学生相談室・カウンセリング（進路や心の悩みを相談できます）、保健管理センター、トレーニングジム、グラウンド、海外留学、キャリア相談、海外短期留学、テニスコート、寮、宿泊施設、国内最大規模を誇る拠点図書館（全国に二つしかない）、生協購買部（夜9時まで営業）と食堂（夜8時まで営業）、手軽なバー、放射線管理・教育、合宿・研修所、アルバイト紹介など。

東京工業大学 グローバル COE プログラム

材料イノベーションのための教育研究拠点

材料物理学専攻を含む東京工業大学・材料系4専攻が共同提案した「産業化を目指したナノ材料開拓と人材育成」は平成14年度に文部科学省が募集した「**21世紀 COEプログラム**」に採択されていました。さらに、平成19年度には、「21世紀 COEプログラム」の基本的な考え方を継承しつつ、さらに国際競争力のある大学づくりを推進することを目的とする「**グローバル COEプログラム**」に採択されました。このプログラムでは産学連携・新産業ベンチャービジネスを志向するような博士育成を目的としたPM（プロジェクトマネージング）コース、基礎力・研究意欲・研究計画に優れた広い研究視野をもてる人材を育成するNI（ナノマテリアルイニシアチブ）コースが設置されています。博士後期課程への進学者の中から志望者を募り、選抜試験を経て決定された学生には年間100万円程度以上のRAが支給される他、海外研修の経費補助等の特典が与えられます。

詳しくは、東京工業大学 グローバル COE プログラム「材料イノベーションのための研究協力拠点」ホームページ (http://www.matgcoe.op.titech.ac.jp/index_j.php) をご覧ください。

◆ 尾中研究室

好奇心からはじめよう

URL <http://www.materia.titech.ac.jp/onaka.html>



尾中 晋 教授

はじめに

ライト兄弟の弟のほうの話ですが、記者に「飛行機の発明には大学の教育なんて邪魔なものにすぎませんよね」と質問されて、「大学の教育を受けていたら間違いなくもっと簡単にできただろう」と答えたそうである。これはもう100年も前のことだが、現在においても大学や大学院は、そこに集まる人間が夢や目標を設定し達成するための場、そのための素養を身につける場であり続けたいと思っている。

研究について

さて我々の研究室であるが、力学物性を中心にした材料物性に関する実験的・理論的研究を行っている。力学物性というと材料の変形や破壊に限られる話と思うかもしれないが必ずしもそうではない。確かにそれらは大きな応用例ではあるが、材料のなかの力学的な状態は微細組織の形成と遷移を決める重要な因子の一つであり、それらを介して材料の機能的な性質にも影響を与える。

では、どのようなタイプの研究を行っているかという、それは材料の中で起こる種々の現象についてそれらを支配する普遍的な基礎原理の獲得を目指した研究が多い。つまり、省エネルギーにつながる超高温材料や軽量高強度材料、環境適応型材料などを創製する試みであっても、モデル材料を用いた実験によって材料のなかで起こる現象と外的因子との関連性を先ず良く調べ、次いでそれらを理論的に考察し、得られる普遍的な知見を材料設計に応用するというやりかたである。このような研究手法にはひろがりがある興味深い。例えば先人の研究によって、1000℃を越える温度での金属のクリープ変形と氷点下における氷河の流動がともに融点直下近傍での結晶性材料の変形挙動として統一的に理解できることは、意外に思えても理にかなったことであることに気付く。

研究テーマについて

材料における微細組織の形成と遷移に関する研究

材料組織は多様に変化し、その変化は材料全体の物性の変化と密接に関連する。材料における微細組織の形成と遷移について、その理由を実験的・理論的に考察している。例えば、図1は金属

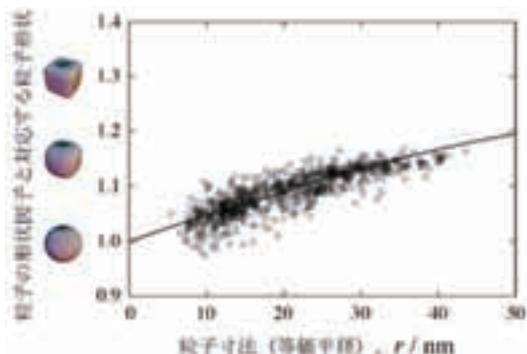


図1 銅合金中の微細な析出物の球から立方体への形状変化

中の析出物の形状が球と立方体のあいだで変化する現象を解析した結果であるが、微細組織の形成と遷移は形の科学としても面白い。図1に関する実験と計算の内容や球と種々の多面体のあいだの形状については研究室のホームページに詳しく書いてある。

変形・破壊の速度論と構造材料の高強度化に関する研究

一昔前の探偵小説の一節、「タフでなければ生きていられない」とは人についてのことだが、材料も同じである。何かをしっかりと支えること、これが材料に対する主要な要求になる場合が多い。

材料の変形と破壊を実験的・理論的に考察している。特に高温域における現象は、材料中の活発な固体内拡散によって様々に変化する。また、変形によつての思いがけない組織変化やその組織変化を原因として性能の向上が起こることもある。変形と破壊の素過程が理解できるような実験を、それに適した試験片の作製を含めて工夫しながら行っている。その様な工夫の一つである二重円筒型双結晶について、図2に示した。この双結晶を用いた実験によって、高温破壊に及ぼす結晶粒界の影響を抽出して議論している。

材料の力学物性についてのマイクロメカニクスによる解析

マイクロメカニクスは、複相材料を構成する各相の強度や形状、割合が材料全体の力学的状態におよぼす影響を定量的に考察するための理論といえる。計算より実験が好きという人もいるが、実験結果についてのある理解をぴったり裏付ける計算結果が得られたときの達成感も大きなものである。実験と計算の両方が自分でやったものなら、なおさらである。マイクロメカニクスに基づく考察を発展させることによって、各種の複合材料や第二相を含む合金の変形挙動そして材料組織形成についての理論的な予測を行っている。

おわりに

夢や目標を持つための出発点として好奇心はとても大事だが、材料・物質の持つ多様性には好奇心をそそられる数多くのことがらが含まれている。見過ごしてしまうようなことなかにも実は興味深い現象が含まれていることが多く、材料・物質について知られていないことを探し出すのは大きな楽しみである。材料・物質の勉強と研究に関心を寄せる諸君の選択は間違っていない。さあ、好奇心から始めよう。

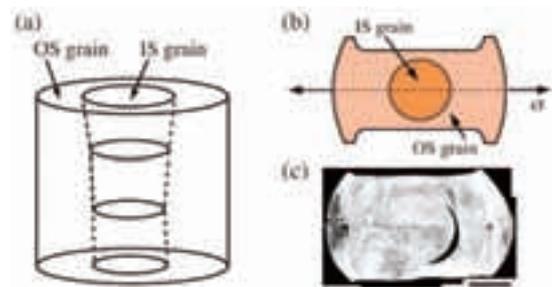


図2 (a) 銅の二重円筒型双結晶 (DC 双結晶) と (b) それから切り出される試験片の模式図。 (c) 高温変型後のDC双結晶試験片の光学顕微鏡写真。円形の粒界に沿ってクラックが発生している

◆加藤研究室

「優しさ」のための「なぜ？」を追求する

<http://www.materia.titech.ac.jp/kato.html>



加藤 雅治 教授

現代の材料開発は、人間、環境、自然への「優しさ」を重視するものでなくてはならない。そのためには、基礎的な見地から材料機能発現の本質を知ることが大切で、基礎と本質を知れば応用への道が開けて、「優しい」材料開発へのブレークスルーが期待できる。

加藤研究室は、学部で様々な専門（物理、化学、材料、機械、等）を学んだ学生の集団から成り、HPにあるような研究室連合も構成して、材料の「なぜ？」を解明すべく種々の側面から材料の「組織と性質の関係」（structure-property relationship）に関する研究を行っている（図1）。扱う材料は、複相合金（複合材料、分散強化合金）、鉄鋼材料、高強度高導電性材料、形状記憶材料、微粒子・薄膜材料、単結晶モデル材料など、多岐に亘っている。

研究体制と研究室

当研究室は、実用材料やモデル材料を用いた実験的研究と、物性物理学、熱力学、マイクロメカニクス、速度論等を駆使した理論的研究を融合させて「なぜ？」に答える迫力ある研究成果を生み出している。“ISI Highly Cited Researchers”（世界的に論文引用回数が多い研究者）の一人に認知されている加藤教授は、本学の学生相談室長として多種多様な学生相談を引き受けた経験も活かして、学生の立場に立った指導を旨としている。大学院では実力と同時に人間としての「優しさ」も培いたいと願う欲張りな人には最適な研究室で、加藤研の卒業生は社会の様々な分野で幅広く活躍している。

微粒子や薄膜の材料科学

例としてCuとFeという、ありふれた2つの金属を考えよう。Cu単結晶の基板の上にFe薄膜を成長させると、Fe膜厚が薄いときはfcc結晶であるが、厚くなるとbcc結晶に変化する。また、図2はCu中のFe微粒子の電子顕微鏡写真で、上下に線状に見える転位

という格子欠陥上に並んだ粒子のみがbccで、他はfccである。「なぜこうなるのだろうか？」と考えると、さまざまな興味が湧く。微粒子や薄膜では、バルク材料とは異なる結晶構造や準安定相が出現し、それが原因となって特異な性質を示すことが多い。本研究室では、ナノ・テクノロジー研究の基盤となることを目指して、微粒子や薄膜の「なぜ？」を実験的、理論的に解明する研究を行っている。

固相相変態に及ぼす外的因子の影響

「組織」には、材料を形成する「相」の分布状態によって決まるものがある。材料の使用目的に応じた最適組織を得るためには相変態を利用することが多い。拡散型（析出、スピノーダル分解など）、無拡散型（マルテンサイト変態など）を問わず、これらの相変態は外的因子（力、電磁場、温度、環境など）によって、熱力学かつ速度論的に影響を受ける。図2の例も、析出形態が転位の応力場という外的因子に影響されたものと考えられることができる。本研究室では、金属・合金の相変態に及ぼすこれらの外的因子の影響を探る研究も行っている。

複相および単相材料の転位組織と力学的性質の関連

「組織」のもう1つに、結晶材料中の欠陥の分布状態によって決まるものもある。材料を塑性変形させることによって、材料中には転位の集合による特徴的な組織形成が起こる。よく知られた金属疲労による破壊も組織形成と密接に関係しているはずで、「なぜ？」このような転位組織が作られるのであろうか、また、そのとき材料の性質はどう変わるのであろうか、を知ることは疲労現象の理解に必須である。本研究室では、実用材料はもとより、単結晶などのモデル材料も用いて各種力学的試験を行い、転位組織の形成過程と材料の性質および信頼性との関係を明らかにしようとしている。



図1 加藤研究室の概念図

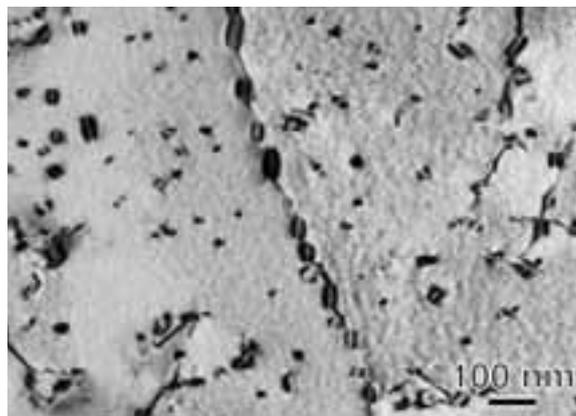


図2 Cu母相中および転位上に析出したFe粒子



図3 最近の単・共著書

梶原研究室

環境と調和する新しい導電性合金・超伝導合金の開発

<http://j2www.materia.titech.ac.jp/kajihara/>



梶原 正憲 准教授

材料の物理的性質は、化学組成が等しくても材料組織を調整することにより大きく変えることができる。材料組織を変える一般的な方法は、高温における加熱処理である。このような高温加熱処理においては、材料組織の変化は拡散律速型反応によって通常進行する。このため、材料組織を制御し目的とする物理的性質を備えた新材料を開発するためには、材料中で進行する拡散律速型反応に対する理解が極めて重要である。

そこで本研究室では、材料組織制御の基本原則である拡散律速型反応に注目し、基礎学問の成果に基づく新材料の開発や評価・解析に関する実験的検討や理論的解析の手法による研究を進めている。以下では、本研究室における実験装置や最近の研究テーマ等について簡単に紹介する。

主な実験装置

走査型電子顕微鏡；透過型電子顕微鏡；波長分散型 X 線マイクロアナライザー；エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー；X 線回折装置；微分干渉型光学顕微鏡；インストロン型機械強度試験機；UNIX 系ワークステーション；画像処理コンピュータ等

最近の研究テーマ

●電子デバイス用導電性合金の開発と評価解析

(1) 新しい無鉛ハンダ合金の開発：Sn-Pb 系ハンダ合金は、優れた電気的・機械的特性や経済性を兼ね備えた導電性接合用材料である。しかし、同ハンダ合金を使用した電子機器を廃棄処分すると、酸性雨等により Pb が溶出し著しい環境破壊の原因となることが明らかになってきた。Pb 汚染によるこのような環境破壊の拡大を食止めるためには、Pb（鉛）を一切含まない新しいタイプの無鉛ハンダ合金の開発が急務である。このような社会的要請に応えるために、Sn-Pb 系ハンダ合金の有力な代替材料として、Sn-Bi 系、Sn-Ag 系、Sn-Cu 系、Sn-Zn 系等の種々の Sn 基無鉛ハンダ合金が提案されてきた。しかし、これら既存の Sn 基無鉛ハンダ合金を BGA (Ball Grid Array) 法による電子デバイスのパッケージ端子材料と

して使用すると、通電使用過程において端子接合部の電気的・機械的特性が経年劣化してくる。これは、通電時のジュール熱によって端子接合部が400K程度の温度に加熱され、Cu 基導電線のメッキ層である Au が端子材料母相の Sn と反応することにより、導電性や延性に乏しい Au-Sn 系の金属間化合物を生成することに起因している。このような現象に起因する組織変化の一例を写真に示す。そこで本研究室では、材料組織学的な手法を用いて、上記組織変化に起因する経年劣化の少ない新しい無鉛ハンダ合金の開発を進めている。

(2) 電子デバイス用リードフレーム Cu 基合金の材料組織学的性質：0.1~0.2mass%の微量の Cr および Zr を含む Cu-Cr-Zr 系合金は、高い導電性と優れた機械強度を兼ね備えた Cu 基合金として LSI (Large Scale Integration) チップのリードフレーム用材料等に利用されている。Cu-Cr-Zr 系合金の優れた機械強度は、Cr 固溶体相および Cu_9Zr_2 金属間化合物の析出・分散強化に起因している。本研究室では、Cr および Cu_9Zr_2 の析出・分散強化の機構を理解するために必要な基礎的な知見の蓄積を目的として、透過型電子顕微鏡を主要な観察手段とする材料組織学的な研究を進めている。

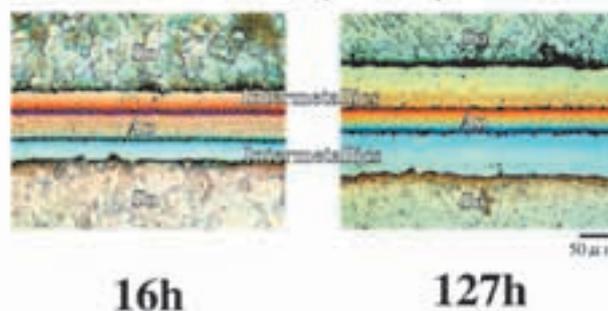
(3) 短経路拡散に起因する高速合金化反応の観察と評価・解析：Cu 基導電性合金が通電環境下で加熱されると、中程度の温度域であっても粒界拡散等の短経路拡散に律速されて合金化反応が高速に起り電気特性の経年劣化が著しく進行する特異な現象の観察される場合がある。このような特異な経年劣化を回避し、耐久性に優れた Cu 基導電性合金を開発するためには、上記の高速合金化反応に対する理解を深めることが重要である。本研究室では、拡散誘起再結晶 (DIR) や拡散誘起粒界移動 (DIGM) に起因する高速合金化反応に注目し、新導電性合金の開発を目指した材料組織学的な研究を行っている。

●反応拡散による超伝導合金の開発と評価・解析

微細な Nb 線を埋設した Cu-Sn 系合金を体積拡散が十分な速さで進行する高温域で加熱処理すると、Nb 細線と Cu-Sn 合金母相が反応拡散し超伝導特性を有する Nb_3Sn が接合界面より生成する。このような反応拡散を利用した超伝導合金の創製法をブロンズ法と呼ぶ。本研究室では、ブロンズ法における反応拡散の速度論的な挙動に対する材料組織学的な理解を深めることにより、優れた電磁特性を有する新しい超伝導合金の開発を目指している。

接合界面における組織観察

160°C (433K)



◆三島研究室

エネルギー有効利用技術のための材料開発

<http://www.materia.titech.ac.jp/mishima.html>



三島 良直 教授

21世紀を迎えエネルギーの有効利用と地球環境の保全を実現するための技術開発がその重要性を増している。発電技術を例にとろう。平成10年度における我が国の電力供給量は約9000億 kWh であり、電力源の構成比は化石燃料約51%、原子力約36%、水力・地熱等約13%となっている。現在の電力供給量の伸び率は年平均約2%であり、原子力への依存の大幅な伸びを期待できない状況では化石燃料を主体に考える他はない。化石燃料のうち石油専焼ベース用火力の新設は困難であり、燃料は天然ガスが石炭になる。したがって、これらをいかに効率よく、またCO₂の発生を極力低減しつつ利用するかは地球規模で必要な革新技術であり、またその確立は非常に優先度が高いと言える。

化石燃料をいかに効率よくエネルギーに変換するか、またその際のCO₂の発生量をいかに低減するか、の2つの課題は燃料の燃料温度を高めることで達成できる。すなわち次世代の複合サイクル発電用ガスタービンエンジンの熱効率はタービン入口ガス温度 (TIT) を1500℃とすると熱効率は53%、1700℃とすると65%となり、現在稼働中の火力発電設備の平均熱効率である約40%を遥かに凌ぐ。また平均熱効率以下の発電所を熱効率65%の次世代複合サイクルプラントに更新することによりCO₂排出量の25%削減できることになる。この削減量は全CO₂排出量の約4%にあたり、1997年の京都会議で決めた日本の削減目標6%の3分の2にあたる。

超耐熱金属材料の開発／高融点金属間化合物の材料設計

このような技術の開発には1500℃超の耐熱性を有するタービン翼など構造用金属材料の設計と実用化が不可欠である。現在その候補としてナノ微細組織制御した金属間化合物基多相合金が挙げられ、NbあるいはMoを主要構成元素とするいくつかの合金系を対象に米国と日本が中心となって開発競争を展開している。三島研究室では高融点金属 Nb や Mo のシリサイドと一次固溶体を知識を駆使して微細な層状 (ラメラ状) 組織とし、その層間隔や配向を精確に

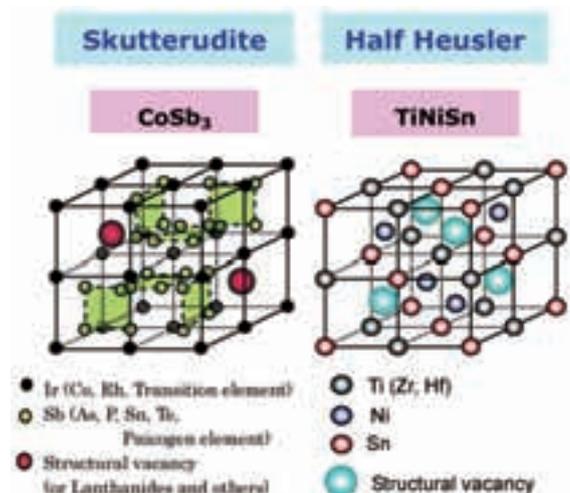
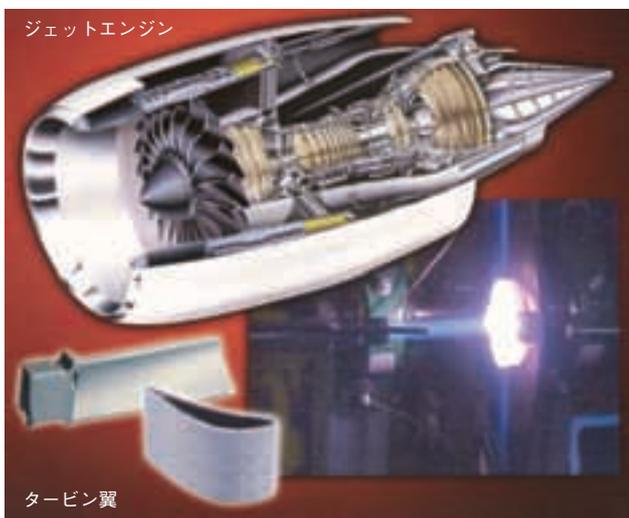
制御することにより1500℃以上で従来材料を遥かに凌ぐ合金の開発研究を行っている。

一方、化石燃料の有効利用と地球環境の保全に関する意識が急速に浸透しつつある今日、アメリカにおいてはすでに電力規制緩和にともなう電力市場のオープン化が実現し、ピーク負荷軽減対策や環境負荷低減の狙いから大略25MW 以下の分散電源や地域ごとの発電と冷暖房システムをまかなうコージェネレーションが脚光を浴びている。コージェネレーションにおける分散電源としてはマイクロガスタービンエンジンが有効とされるが、問題点として発電にかかる熱効率が30パーセントであって大量の廃熱を伴うためこれを熱交換器によって有効に回収して温水などとして利用する必要があることが挙げられる。

廃熱を電気に／金属間化合物熱電半導体

マイクロガスタービンエンジンの廃熱を有効に利用する方法の一つとして熱電モジュールを通常の冷却水を用いる熱交換器と併用する複合発電方式が最適であると考えられる。そのためにはこれによって達成できる熱効率の向上が熱電モジュールのコストに十分見合う高効率低コストの熱電材料の開発が不可欠となる。

熱エネルギーを電気エネルギーに変換する熱電材料の多くは金属間化合物半導体である。これまで我々は種々の遷移金属元素のシリサイドについてゼーベック係数、電気伝導度、熱伝導度などの熱電特性にかかわる物性値を系統的に調べ、高効率熱電材料の設計指針を明らかにしてきた。例えば熱電素子としてまず価格が低廉の上環境負荷が低い元素から構成される FeSi₂ や MnSi₂ を対象とし、化学組成と微視組織を最適化することによりその熱電性能を最適化する研究を展開し、また一方では次世代の高効率熱電材料として有望な PGEC (Phonon Glass Electron Crystal) 材料であるスクッテルダイト構造を持つ IrSb₃ および half-Heusler 構造を持つ TiNiSn 等一連の化合物半導体について結晶構造、化学量論組成からのずれ、製造法や組織が熱電特性に及ぼす影響を調べて性能の最適化を図っている。



◆木村研究室

地球に優しく材料の機能をデザインする

<http://www.materia.titech.ac.jp/>



木村 好里 准教授

人類は大自然から豊かな恩恵を受け続けている一方で、自らの英知と努力で培ってきた科学技術によって便利な生活を手に入れました。しかし現状のペースで過度に開発だけを進めていくと、代償として資源は枯渇し、地球環境は破壊されます。私たち研究室では、材料科学の立場から省エネルギーと低環境負荷に貢献できることを考え、高機能かつ高性能な材料をデザインして創り出すことを目指して研究を行っています。

1. 廃熱をクリーンな電気エネルギーに直接変換して回収する ～熱電材料（機能性材料）～

自動車、航空機、発電プラント、ゴミ焼却施設など、あらゆるところに廃熱が存在します。熱電発電は廃熱をクリーンで使いやすい電気エネルギーとして回収する技術であり、地球環境保全に貢献できます。毒性元素や希少元素を全く含まない環境に優しい熱電材料として、私たちは TiNiSn に代表される Half-Heusler 型化合物に注目しています。熱電材料の性能は温度 T において無次元性能指数 $ZT = (\alpha^2 \sigma / \kappa) T$ で評価され、熱電能（熱起電力） α と電気伝導度 σ を大きくし、熱伝導度 κ を小さくすることにより ZT の値が向上できます。これらの物性値は独立に制御できないので、キャリア濃度の最適化により電気特性を改善し、 κ の格子成分をフォノン散乱により低減することで熱電特性の向上を考えます。熱電特性は製造プロセスにも大きく依存します。Half-Heusler 型 (Hf, Zr)NiSn の単位胞ならびに出力因子（Power factor）の温度依存性を図 1 に示します。私たちは光学式浮遊帯域融合法（OFZ）を用いた一方向凝固によって、単結晶と単相合金の作製に初めて成功しました。Arc 溶解と Hot press で作製した合金は、性能を劣化させる共存相や微小き裂が存在するため低い出力因子を示します。OFZ 法ではゆっくり凝固させるため微小き裂など凝固欠陥を効果的に抑制でき、結果として 3～4 倍大きな出力因子が達成できます。つまり (Hf, Zr)NiSn に固有の優れた熱電特性を引き出すことが可能です。

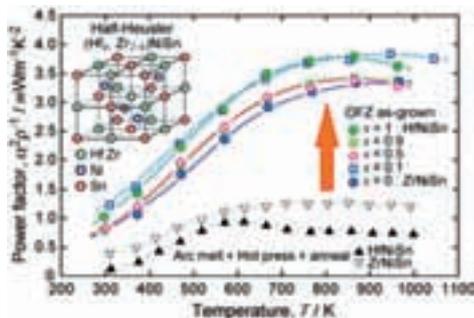


図 1 Half-Heusler (Hf, Zr)NiSn の単位胞および出力因子の温度依存性

2. 規則構造の変化と塑性変形の制御で強度と靱性を両立する ～耐熱合金（構造用材料）～

実用耐熱合金の耐用温度を向上させる、または新しい高融点材料で代替することができれば、高効率化によって省資源と低排出ガスを同時に実現できます。材料の性能向上だけでなく、信頼性と耐久性の改善、リサイクル性の確保も重要な課題です。一例として、私たちは Ni 基超合金の強化相である $L1_2$ 型 Ni_3Al と極めて類似した

結晶構造を持つ $E2_1$ 型金属間化合物を強化相とする新しい耐熱合金の設計開発を行っています。 $E2_1$ 型 Ni_3AlC 、 Fe_3AlC 、 Ti_3AlC などは常温で高強度かつ脆性を示します。ところが Co_3AlC は室温延性に優れ、高温強度が高いという特異かつ魅力的な機械特性を有しています。 Co_3AlC は C 原子の規則化により、逆位相領域（APD）の形成をともなって $E2_1'$ 型 $Co_3AlC_{0.5}$ に規則変態します。 $L1_2$ 型と $E2_1$ 型の単位胞 4 個ずつが交互に隣り合わないよう配置した構造が $E2_1'$ 型であり（図 2a）、侵入型 C 原子を含まない $L1_2$ 型の最密面（111）の積層がすべり系として働くことにより優れた塑性変形能を示すと考えられます。 $E2_1'$ 型への規則変態にともない形成する APD のサイズは熱処理により制御でき（図 2b）、機械特性だけでなく磁気特性にも大きな影響を及ぼします。

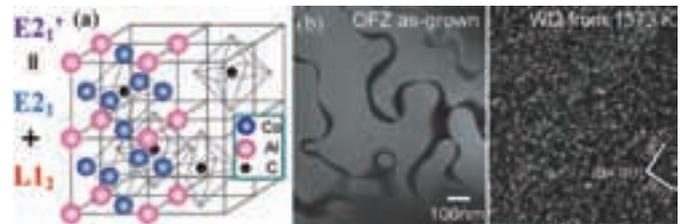


図 2 $E2_1'$ 型 $Co_3AlC_{0.5}$ の規則構造と逆位相領域（APD）

3. 原子が活発に拡散する高温で材料を守り特性を維持する ～拡散障壁層（相平衡・拡散）～

耐熱合金はもちろん、発電用の熱電材料も高温域で使用するため、原子拡散を考慮することが材料設計において重要です。例えば耐酸化特性を改善するための手法として、 Al_2O_3 のような安定な酸化被膜を形成する Al 化合物を基材の表面に積層します。しかし高温域では Al が基材中に内方拡散し、基材の構成元素が外方拡散します。その結果、基材も耐酸化層である Al 化合物も本来の機能を維持できなくなります。そこで拡散を抑制するために拡散障壁層を挿入することが考えられています。融点が高く、酸素透過性が低い Ir に私たちは着目しています。Ir と種々の遷移金属元素 M の相互拡散係数の温度依存性を図 3 に示します。EPMA によって拡散対の濃度プロファイルを測定し、Boltzmann-Matano の解析法を用いて相互拡散係数 D_{Ir-M} を導出します。M=Al, Ti の相互拡散係数が高融点元素 Mo, Nb の場合と同等に低い値を示すことはとても興味深く、Ir は Ti 系、Al 系合金に対する有効な拡散障壁層として利用できると考えられます。

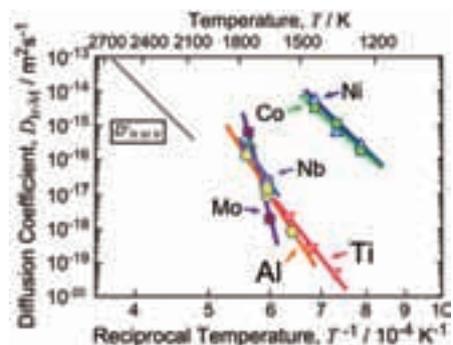


図 3 Ir と種々の遷移金属元素の相互拡散係数の温度依存性

◆平山研究室

Wave Function Engineering

<http://www.materia.titech.ac.jp/hirayama.html>



平山 博之 教授

はじめに

固体表面上には、固体内部とは全く異なる表面特有の超周期構造を持った原子配列や電子状態が現れます。また固体表面を舞台として、その上に原子や欠陥を並べたり、非常に薄い薄膜や島を成長させることにより、ナノスケールの構造を人工的に形成することができます。私たちは (i) こうした固体表面や界面、超薄膜の構造や電子状態を上手く利用しながらナノ構造を構築し、(ii) 構築した表面ナノ構造中に電子を閉じ込めることにより、構造・形状を通じた電子の波動関数の制御を通して望まれる電子状態や物性を実現するための研究を行っています。

表面構造を利用した超高集積 1次元量子井戸配列

SiやGe結晶の(001)表面には、(110)方向に向かって伸びる1次元原子鎖が等間隔でびっしり並んだ構造が自然に現れます。またこの表面に現れる1次元原子鎖は、鎖の方向に沿って1次元自由電子的なバンド分散関係を持つことが知られています。私たちはSi(001)表面の1次元原子鎖構造に着目し、このうえにSiとは少しだけ格子定数の異なったGe層を2原子高さエピタキシャル成長させることにより、表面の1次元鎖を約8原子程度の長さのセグメントに切り分け、それぞれの1次元原子鎖セグメントを1次元量子井戸として機能させる研究を行っています。

Ge/Si(001)表面では、図1に示すようにGeとSiの格子定数の差のために、表面に原子欠損が発生し、これは1次元原子鎖と垂直の方向に線状に等間隔に並びます。この結果、1次元原子鎖は格子不整合によって発生した原子欠損列によって、長さ8原子のセグメントに切断されます。表面にはこの1次元原子鎖セグメントがびっしり配列し、個々のセグメントはそれぞれが1次元量子井戸として機能することが期待されます。実際にこの表面の電子密度の空間分布をSTM(走査トンネル顕微鏡)で観察すると、図1の右側に示したように、特定のエネルギーにおいて1次元量子井戸の $n=2, n=1$ などに対応する2山、1山構造をもった電子の空間分布が各1次元原子鎖セグメント上で観測されます。

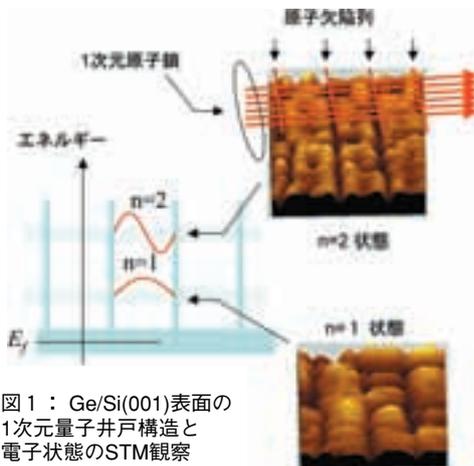


図1: Ge/Si(001)表面の1次元量子井戸構造と電子状態のSTM観察

表面上への2次元量子構造の構築

貴金属の表面、あるいは半導体上に貴金属を1原子層程度蒸着した表面上には2次元電子ガスのような性質を持った表面電子準位が発生する例が多く見られます。一例として図2にAg(111)表面上の2次元電子系が表面のステップや転位によって散乱された結果発生した電子定在波(電子のさざ波)をSTM(dI/dVモード)によって観測した結果を示します。

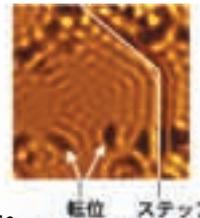


図2 Ag(111)表面の電子定在波のSTM(dI/dVモード)像

私たちはこうした表面にSTM探針を用いて原子を部分的に引き抜いた閉曲線を描き、描いた図形中に表面の2次元電子系を閉じ込める研究をしています。この方法を用いると、室温においても安定でサイズ、形状を原子レベルで任意に制御した2次元ナノ構造を構築することができます。またこの構造中に閉じ込められた2次元電子はそのサイズ、形状に応じて決まる量子準位を発現します。特にそのサイズが小さい場合には、量子準位間隔を室温における熱揺らぎより大きく取ることができ、室温においても量子効果を発現できる可能性が生じます。図3に一例として私たちが開発した任意のサイズ、形状における量子準位を理論的に予測する数値計算コードを用いて予測したいくつかの量子準位の電子状態の空間密度分布と、これを実際に室温でSTM(dI/dVモード)で観察した結果を示します。

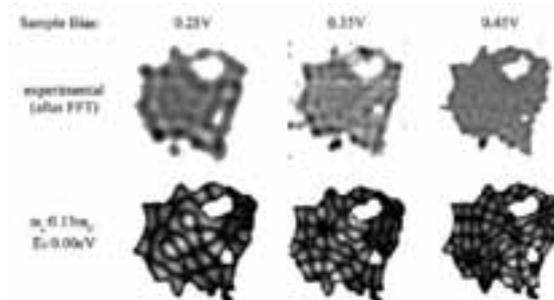


図3 Si(111) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag表面にSTM探針で描いた2次元閉曲線図形中への表面電子の量子閉じ込め (上段) STM像 (dI/dVモード) @室温; (下段) 数値計算結果

おわりに

以上、私たちが行っている研究の中から2つほど例を示しました。これらの例に示されているように、私たちは固体表面の特性を上手に利用してナノ構造を構築し、その中への量子閉じ込めを通して望まれる電子状態を実現するための研究を目指しています。また紙面の関係上ここでは詳しく説明できませんが、私たちは「表面の電子構造や量子閉じ込めを利用したナノ構造の制御」と「その量子触媒への応用」、「ヘテロ表面・界面の歪や電子状態の解明」、「グラフェン表面を舞台とした相対論的量子物性」、「エレクトライドなどの新規物質の表面物性解明」などについて研究もしています。

◆熊井研究室

強くて優しい社会基盤材料をつくる

<http://www.materia.titech.ac.jp/kumai.html>



熊井 真次 教授

我々の研究室では、主として構造材料の組織と力学的性質について研究を行っています。常に社会との接点を明確にし、時代の要請に応え得るような研究成果をもって社会に貢献すること、さらに研究室のメンバーの一人一人が研究活動を通じて独自の舌（テイスト）や独自の物差し（スケール）を育み、明日を背負う技術者、研究者、教育者として成長することを目指して努力しています。我々の切り口は、材料の特性と組織ならびにその製造プロセス、これら三者の関係性を材料科学・材料工学的観点から詳細に探求するところにあります。アルミニウム材料を中心に研究を進めていますが、常に新しいテーマにチャレンジし、研究領域の拡大ならびに異分野とのコラボレーションを積極的に進めています。ここでは、現在進行中の研究テーマのうち、代表的なものを紹介します。この他にも、構造用材料の疲労、微視組織制御による構造材料の力学的特性向上、金属表面のテクスチャと色と光沢等について研究を行っています。

1. 先端的手法による異材接合と接合材の界面組織のナノ構造解析と力学的特性評価

地球環境保全や省エネルギーの観点から各種輸送機器の軽量化の要求はますます高まっています。現在、軽量化の一方策として使用材料のマルチコンポーネント化への取り組みが行われていますが、この場合のキーテクノロジーになるのが異なった材料間の接合、すなわち異材接合です。我々の研究室では、電磁力を利用した衝撃圧着や摩擦攪拌を利用した固相接合法である FSW (Friction Stir Welding) 等の先端の接合法を用いて、Fe と Al を初めとする異種金属の接合材を作製し、接合界面のナノ構造解析と力学的特性評価を行っています。例えば Fe と Al の電磁力衝撃圧着接合界面は、爆着による接合材の界面に見られるような波状形態を呈し、さらに中間層が認められますが、この中間層がアモルファス相やサブミクロンオーダーの Al 微細粒とそこに分散した IMC 粒の複相組織から形成されていることを明らかにしています。さらに電磁力による衝撃圧着は他の金属にも適用可能であることから、現在、Al/Ni、Al/Mg、Al/Cu 等の平衡状態図上に中間相 (IMC) が存在する系、Cu/Fe のように相互の固溶度が極めて小さい系、さらに Cu/Ni のような全率固溶する系等、特徴的な異材の組み合わせについて接合界面構造を解析し、接合メカニズムを明らかにするための基礎的研究を併せて進めています。

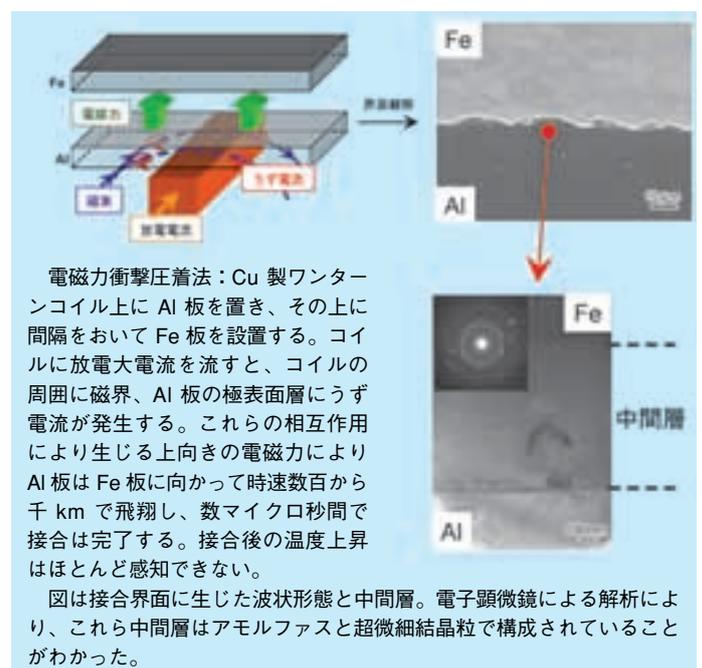
2. 高速双ロールキャスターによる Al 合金薄板の直接製造と急冷効果による特性改善

アルミニウム材料はリサイクルによる省エネルギー効果が大きいため、積極的に再資源化されていますが、たとえば自動車ボディー用材料として使用されている高品位の展伸材のほとんどは鋳物・ダイカスト用へとダウングレードリサイクルされているのが現状です。これは再生材の高純度化が困難であり、不純物を無害化してもとの高品位な材料へと転生させるためのプロセスがまだ確立され

ていないためです。さて、Al 合金薄板を高速度でスクラップ溶湯から直接製造し、急冷凝固による組織の微細化によって再生材の劣化した材料特性を改善することが可能であれば、資源循環性、省エネルギー性、材料組織制御等多くの点で多大な寄与が期待できます。我々の研究室では、スクラップ溶湯から高品質なアルミニウム材料板材を直接製造できる高速双ロールキャスターの開発を行って、アップグレードリサイクルのみならず新しい機能材料の作製を実現し、環境配慮型金属材料生産プロセスの構築に資することを目的に実験的研究を行っています。具体的には、双ロールキャストによる急冷凝固効果により鋳造用合金に加工性を付与することやリサイクル材の Fe 混入による特性劣化の防止に取り組んでいます。本研究は、(財)軽金属奨学会の課題研究や経済産業省の「3R システム化可能性調査事業」にも採択され、また軽金属学会論文賞、日刊工業新聞社賞を受賞しています。

3. 自動車軽量化のための先進 Al 合金の靱性評価

CO₂ 排出問題を初めとする今日の世界環境問題に対応するため自動車の燃費向上は急務で、そのため鉄鋼材料からアルミニウム材料へと材料置換が試みられています。しかしアルミニウム合金に関してはその力学的性質に関する基礎データ、特に破壊特性に関するデータが極めて少なく、その蓄積と整備が求められています。我々の研究室では、引裂試験法に着目し、引裂エネルギーを用いた鋳物・ダイカストの靱性評価法を確立し、これを利用して各種 Al 合金の破壊挙動の解明を行っています。これらの研究の一部は、関連学会の研究テーマにもなっており、他大学や企業と協力して研究を進めています。



◆八島研究室

エネルギー・環境・バイオ・電子・構造材料, 触媒の結晶構造と電子を調べる

<http://www.materia.titech.ac.jp/~yashima/Yashima-Jpn.html>



八島 正知 准教授

1. 研究のアプローチと特徴は？

現代社会には、エネルギー、環境、バイオなどの分野に多くの課題が山積みです。これらの課題の解決には優れた材料を開発することが必要ですが、そのためには材料の結晶構造（原子配列）と電子の状態を調べるのが鍵となります。当研究室では、近年発展が著しい精密構造解析技術を駆使して、実用材料の結晶構造と電子を調べています。材料の多くは高温で使用し、合成されますので、高温下に試料を保持したまま結晶構造と電子状態を実況中継（その場観察）して材料特性との関係を明らかにすること「高温構造物性」に力を入れています。そのために世界で唯一の高温精密構造解析システムをいくつか開発して（図1 a, b）、他人に真似できないオンリーワンの研究を行っています。高温精密構造解析という要素技術も確立して、これから飛躍する研究室です。

2. 研究室の構成と特徴

スタッフ	：八島准教授
学生	：大学院生7名（女性2名）
出身分野	：材料, 物理, セラミックス, 化学, 応用物理, 金属, 機械
就職先	：東工大, ラシャヒ大, コニカミノルタ, コーニングジャパン, 昭和電工, ボッシュ, 富士電機, 京セラ, 住友化学, 大同特殊鋼, シチズン, INAX, 日本特殊陶業, 富士重工, NECエレ, 第一稀元素化学 他
共同研究先	：東大, 京大など約10大学, 国立研究所, 民間企業数社
学会	：セラミックス協会, 結晶学会, 金属学会, 国際結晶学連合IUCr, 固体イオニクス国際会議, 中性子科学会, 物理学会, 化学会など
使用装置	：中性子回折装置（2台）, (放射光) X線回折装置（5台）, 高温回折加熱装置（6台）, 熱量計, 熱膨張計, TG-DTA, 試料合成装置（4台）, ボールミル, 顕微鏡, ドラフト（2台）, パソコン（1人1台以上）等
受賞	：セラミックス協会学術賞, 結晶学会学術賞, 金属学会功績賞, 触媒工業協会技術賞など

3. 教育方針

世界トップレベルの研究を学生さん自身が(1)立案する、(2)実施する、(3)発表するという能力を磨きます。研究室のセミナーは(1)一週間に一度の文献紹介と研究報告、(2)一ヵ月ごとの英語による研究紹介と日本語による研究報告を行っています（研究紹介の後の飲み会が楽しみ（図1d））。学生さん全員が国際会議で発表するようがんばっています（最近の学生の発表場所：英国、香港、上海、ハワイなど）。世界で活躍できる研究者を育てるため、最先端の設備・巨大施設を使って解析装置の設置・光学系調整、データ測定、データ解析を行います。また、純度の高い試料を合成します。個々の学生が独立性を持って研究を行います。高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構、SPring-8など巨大施設では全員が協力して実験を行います。テーマの異なる学生・職員間でも忌憚のない自由な議論、情報交換をします。修士課程の学生さんの研究成果が新聞に大きく取り上げられています。

4. 研究テーマ：

(1) 高温での精密構造解析システムの開発：優れた研究を行うために、オンリーワンの装置を自分達で開発する

当研究室では、「高温での精密構造解析システム」をいくつも開発しました（図1 a, b）。このようなシステムは殆ど例が無く、世界初、日本初、オンリーワンを連発します。その結果、原子、イオン、電子の広がりと構造を、空気中1900 Kという高温に試料を加熱したまま正確に求めることができるようになり、高温での精密構造物性という新分野を切り開きつつあります。

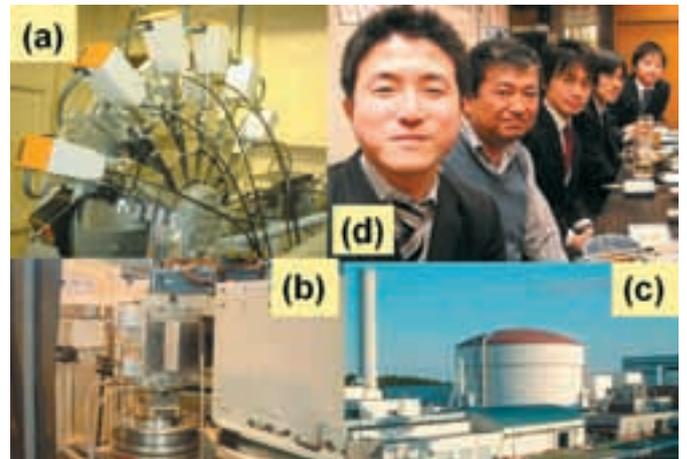


図1 八島研が中心になって開発してきたオンリーワンの高温精密構造解析システム群。(a)多連装放射光回折計に設置した新型高温加熱装置(4B2@KEK)。原研の研究用原子炉(c)の高温中性子測定システム(b)(HERMES@東北大)。(d)大阪にて皆で学会発表した後の飲み会にて。

(2) イオン・原子の位置と動きを調べる：中性子回折法

エネルギー・環境分野の鍵を握るのは固体中をイオンが流れるイオン伝導体です。イオン伝導体におけるイオンの位置と動きを中性子と放射光を使って調べています。当研究室では、世界に先駆けて燃料電池材料であるランタンガレート（図2 (a)）、最も酸素イオン伝導度が高い酸化ビスマス（図2 (b)）、リチウムイオン電池材料におけるイオンの位置と拡散経路を決定することに成功しました。また、触媒などのナノ材料、強誘電体等における結晶構造と相転移も次々に明らかにしています。

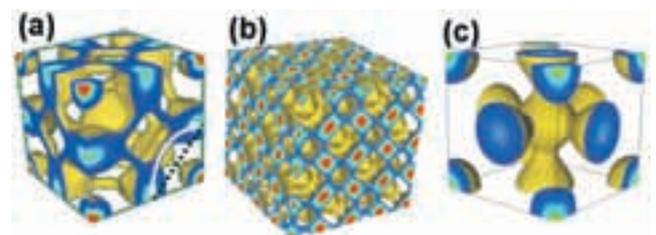


図2 当研究室が中心となって明らかにしてきた、(a)ランタンガレートにおける酸素イオンの伝導経路（白抜き矢印）、(b)酸化ビスマス固体における酸素イオンの伝導経路ネットワーク、(c)チタン酸カルシウムペロブスカイトにおける電子密度分布。Ti-O原子間に共有結合が見える。

(3) 共有結合を可視化する：放射光回折法 超高分解能で複雑な先端材料も調べる

多くの先端無機材料では、イオン結合と共有結合を自在に組み合わせることで好みの材料特性をつくり出します。一つの材料の中に共有結合とイオン結合がそれぞれどこにあるのか？可視化する研究を行っています。図2 (c)には1401℃にペロブスカイト(CaTiO₃)を保持したまま測定した放射光回折データを解析して得られた電子密度分布です。Tiと酸素原子の間の共有結合が可視化されています。クリーンで再生可能な水素エネルギー源として期待されている光触媒における化学結合を調べて、光触媒が可視光に反応する構造的要因も明らかにしています。また、第一原理バンド計算を行い、化学結合の本質に迫ります。図1 (a)の放射光回折装置は分解能が高く、バイオセラミックスなど複雑な先端材料の研究も推進しています。熱電材料や磁性材料も調べます。

◆ 林研究室

環境と資源の世紀のための機能セラミックス材料とデバイス

<http://www.msl.titech.ac.jp/~sunny/>



林 克郎 准教授

はじめに

金属酸化物からなるセラミックス材料を、特異な状態のイオンやラジカルなどの化学種を生成・貯蔵・輸送する場として捉え、それらの物理化学的性質を理解すると共に、新しい機能材料やデバイスに昇華させる事に興味を持って研究を行っています。また、私たちに課せられた使命は、「資源・環境制約社会」に向けた「安全と安心」という新しい価値観を生み出す材料研究です。この目標に向けて、所属の応用セラミックス研究所セキュアマテリアル研究センターの各グループと協力して活動しています。

研究テーマ

固体セラミックスからなる酸素ラジカル源

当研究室独自の全く新しい技術であり、特許も申請しました。セラミックスの特徴を最大限に利用しており、危険な活性金属や反応性ガス、高周波等を一切必要としません。高速酸化物イオン伝導体である ZrO_2 セラミックスを、イオン伝導による直接ジュール加熱で $1800^\circ C$ もの高温に昇温して、原子状酸素の輸送と真空中への脱離を著しく促進させました。従来のプラズマ等のラジカル源と比較して低消費電力でありながら、高い酸化レートをたたき出します。酸素ラジカルは、強力な酸化反応性を持つ化学種であることから、超高真空向け酸素ソース、シリコン・ゲート酸化膜形成の低温化、有害物質酸化分解処理などへの展開が期待され、実用化に必要な課題を解決すべく、改善を重ねています。また手始めとしてパルスレーザー蒸着装置(PLD)への適用を進めています。固体からの表面脱離現象に関する科学も興味深いところです。



図1 (左) 酸素ラジカル放出とその照射・評価のための実験装置
(右上) 白熱した放出源と四重極質量分析計
(右下) 水晶振動子上での銀の酸化

ナノポーラス構造に閉じ込めた活性陰イオンによる機能性

カルシウム・アルミネート系化合物で、酸化物イオン伝導体でもある $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ (C12A7) に着目しました。組成から予想されるように、従来のものは透明な絶縁体でしたが、私たちは、これを電子伝導体に変化させる事に成功し、軽金属酸化物で初めて得られた導電性として、2002年にNature誌に発表しました。絶縁碍子となるような材料でも工夫によって電子導電性を付与できる可能性があ

る訳です。

図2に示すように、C12A7はナノサイズの籠(ケージ)状の結晶構造を持ち、ケージ内部に、高い反応性を持つ水素化物イオンや(H⁻)や酸素ラジカル陰イオン(O⁻)などの化学種を、安定に閉じ込める事ができる事が分かりました。H⁻イオンを閉じ込めた状態で紫外線を照射すると、その部位のみが 10^{10} 倍以上もの伝導度変化を起し、永続的な導電性を示すようになります。H⁻から放出された電子がケージに捕獲され、伝導性を担います。

さらに、化学的にケージ内を空にすることで、電子を高濃度に導入して金属伝導性を付与できたり、効率的に電子が放出される事などが明らかになっています。また、H⁻イオンや電子を水溶液系に放出させることで、穏やかな速度で強い還元反応を起こすことが可能であり、生体に有害なラジカルを消去するなど新しい用途が期待できます。

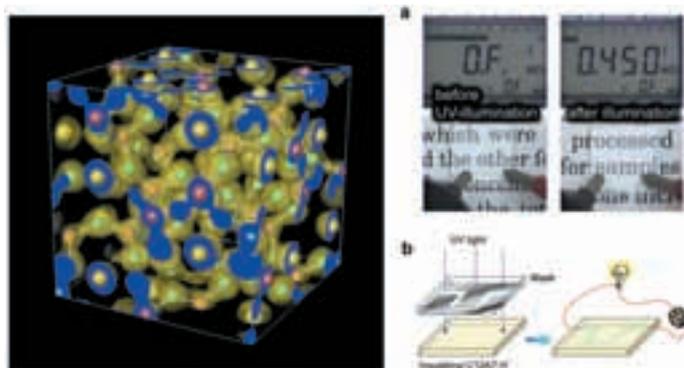


図2 (左) 放射光測定によって得られたC12A7のケージ構造。
(右a) H⁻イオンを包接したC12A7薄膜の紫外線照射前後の変化
(右b) 目に見えない電気回路パターンニング

新型燃料電池開発

燃料電池車・電気自動車開発には、問題が山積みです。例えば、十分な航続距離を得るためのエネルギーをどのように貯蔵するか？ ナノ材料、新型金属水素化物等が検討されていますが、仮にこれらの問題が解決されたとして、本当にエネルギー効率の良い社会システムが出来上がるのでしょうか？ 現在、構想から実験環境の整備段階ではありますが、私たちはこの命題に対して新型エネルギー変換デバイスで立ち向かおうとしています。

研究室の特徴

本年度は一期生がM2になっています。研究グループの黎明期の活発さや団結を、(林は)羨ましく思ったり、あるいは、それ自体を経験したりしてきました。ぜひ、皆さんにもこれに加わって戴きたいと思います。

実際の研究活動は、細野・神谷研究室と境界なく行うことができます。また、企業や外国人の研究者もよく出入りしていますので、恵まれた研究環境やプロの研究者から、大いに刺激を受ける事ができます。さらには、R3棟のセキュアマテリアルセンターの各研究室との交流も親密です。

◆ 須崎研究室

酸化物界面の物理: 持続可能社会のためのナノ電子材料開発

<http://www.msl.titech.ac.jp/~susaki/>



須崎 友文 准教授

はじめに

エレクトロニクス新材料開発を念頭においた酸化物薄膜研究は、酸化物エレクトロニクスとして近年特に発展が著しい分野であり、物理学、材料学、化学、エレクトロニクスなどのバックグラウンドを持った研究者が次々と参入をしています。須崎は強相関電子系・表面物理などの研究を経て2003年にこの分野に加わり、日本における酸化物エレクトロニクス研究を先導してきた東工大すずかけ台キャンパスにおいて2007年に研究室を開設しました。現在、2008年度に配属された修士課程学生3人と、酸化物を用いて人工界面構造を作製し、新しい電子状態、デバイス機能の探索を行っています。他の酸化物薄膜の研究室と比較すると、地殻中の存在率が高いクラーク数上位元素酸化物を材料とすること、物性物理学として重要な問題を見出そうとする志向が強いことが特徴です。

セキュアマテリアル研究—安全・安心社会へむけて

人工物にあふれた現代において、資源枯渇、廃棄物による環境負荷といった問題から逃れて物質研究を進めることはできません。鉛酸化物はすぐれた誘電特性を示しますが、鉛の有毒性が常に問題となってきました。近年、インジウムが新しいディスプレイやダイオード開発に大きな役割を果たしていますが、希少金属であるインジウムの資源枯渇、価格の高騰により、せっかくの新機能の恩恵を世界中の人が受けるのは難しい状況となっています。須崎研では、天然資源・廃棄物として無尽蔵に存在し、かつ生体にも無害であるクラーク数上位元素酸化物を用い、超長期のタイムスケールで社会に寄与できるナノ電子材料の開発を狙ってゆきます。

物理学としての面白さ

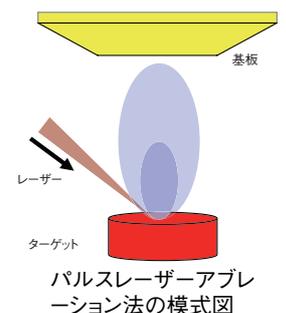
固体界面は、ナノスケール人工構造の最小単位であり、ナノサイエンスにおいて最も基本的な位置を占めます。歴史的には、Si、GaAsなどの良質な半導体界面において実現する2次元電子状態は、量子ホール効果などの量子現象発現の舞台となってきました。一方、1986年の銅酸化物超伝導体の発見以降、高温超伝導、超巨大磁気抵抗などの特異なバルク物性が酸化物において次々と見出されてきています。酸化物では、陽イオン・陰イオンが存在することによる分極、電子の局在性に起因する強い電子間相互作用が大きな特徴です。これらの効果に加え、高温超伝導では銅酸化物平面の存在が本質的であり、超巨大磁気抵抗においては結晶構造の層状化によって磁気抵抗の大きな増強が実現するなど、低次元性や界面の重要性も当初から指摘されていました。このような界面の効果を酸化物において積極的に利用するという試みは、試料作製、評価が困難であることから進展が阻まれてきましたが、2000年代に入って原子スケールの精度での薄膜作製技術が確立し、世界中で精力的に研究が行われるようになりました。イオン結合性・電子間相互作用などの酸化物特有の効果に、ナノスケールの構造的工夫をどう絡めていくかが腕の見せどころです。

ナノエレクトロニクスにどう寄与するか

演算能力向上、省消費電力、省材料などの観点から、デバイスの微細化は現在のエレクトロニクスの最重要の課題です。現在のデバイス工学が直面している問題は、バルク（表面や界面の影響を受けない、固体内部の物性）の特性がナノスケールでは劣化してしまう、という問題に帰着します。酸化物エレクトロニクス分野においても、バルクでの有用な物性（超伝導・磁性など）を人工構造に組み込もうとすると、これらの特性が劣化してしまうという問題が発生しています。実際、バルクで優れた特性を持つ物質を開発しても、その物質の表面や界面では特性は劣化してしまうという例は無数に見出されています。このような試料に改良を加え、表面・界面の劣化を最小限に食いとどめるという研究も行われていますが、須崎研ではこの逆の例、すなわち、バルクでは平凡な物性を示す材料を用い、原子スケールで制御された表面や界面、薄膜のみで機能特性が発現する系を見出すことを目標にしています。電子デバイスが、平凡な特性（非磁性絶縁体）を持つ筐体に埋め込まれた機能素子であると考えれば、このような系は極限まで微細化可能な新デバイス開発に直結するということができます。

研究の実際

酸化物を素材として人工薄膜試料の作製、評価、実験結果の解析を進めてゆきます。試料作製は、酸化物薄膜の高精度作製に威力を発揮するレーザーアブレーション法を用います。図に示したように、薄膜の原料であるターゲット物質を真空槽内に準備し、高いエネルギー密度を持つレーザーをパルス的に照射し、原料物質の表面をはぎとって基板上に堆積させてゆきます。試料の評価は、面内の輸送特性測定や、接合の電圧-電容量特性評価、さらに光電子分光という分光手法を用いて行います。



2009年度の教員の抱負

クラーク数上位元素酸化物を研究対象とすることを決めて本専攻に着任してから3年目に入ります。これまで須崎は積極的に研究分野を変えてきましたが、一つのテーマに取り組んだ期間は最長でも4-5年でした。一期生の修士課程の学生さん3名も、一年目に国内・国際会議で発表するなど急速に実力をつけてきていることもあり、これからの数年への思いは格別のものがあります。

教育については、いい研究結果を出す面白さを知って欲しいという方針に従って指導を進めています。現在のテーマの学際的性格から、物理学、材料学、化学、エレクトロニクスのいずれかを専門としてきた方には、研究内容に十分手ごたえを感じて頂けると思います。

◆伊藤・谷山研究室

酸化物の新機能探索とナノ磁性物理とスピントロニクス

<http://www.msl.titech.ac.jp/~itohlab>



伊藤 満 教授



谷山 智康 准教授

酸化物の新機能探索

酸化物は世の中に存在する物質の中で最もダイナミックレンジの広い物性を示すことが知られています。この興味深い特性を何らかの応用可能な機能として意識して探索していくためには、化学結合を意識した材質設計が必要です。この場合、元素置換を常套手段とした古典的なセラミックスプロセス手法では桁はずれな挙動を示す新物質開発はもはや望めません。つまり、物質開発には幅広い分野の知識と合理的な直観が必要とされます。

我々のグループでは、物性の本質を見極めながら特異な挙動を示す新規物質を探索しています。具体的には、これまでの教科書に載っていない新物質を多結晶、単結晶、あるいは薄膜で作製し、これらがねらい通りの特性を示すか否かを確認しています。意図した通りの物質ができることは極めて少ないのですが、この理由を知ることによって新しい物質設計の指針が得られます。具体的には、酸化物の (1) 強誘電体・圧電体 (2) 磁性誘電体 (3) 磁性体 (4) 電子伝導体 (5) イオン伝導体の新物質合成を行っています。これらの化学的/物理的研究を通して、酸化物の構造と機能を俯瞰できる世界レベルの研究者の育成を目指しています。

新しい強誘電体・圧電体を設計し機能の起源を探る

典型的な強誘電体はすでに多くの物質が実用化されています。しかし、なぜ、特定の物質が強誘電性を示すかという間に答えられるほど基礎研究は進んでいません。我々のグループが10年以上前に発見した量子常誘電体の物質群は現在に到っては約30まで拡がり、その物質群そのものの興味ばかりでなく、応用研究にも関心が集まっています。また、9年前に合成した酸素同位体置換SrTiO₃は‘強誘

電性の元’を特定するための恰好の材料となりました(図1)。この研究を発端として、双極子相互作用 vs. 量子ゆらぎ(ゼロ点振動)を枠組みとする量子強誘電体・常誘電体に関する理解が急速に進んできました。現在、この研究は日本国内のみならず、世界の15以上の研究機関との共同研究が進んでいます。

また、他の強誘電体、圧電体に関しても精力的に研究を進め、新しい材料設計法について報告しています。

磁性、電子伝導性・イオン伝導性新物質の合成

遷移金属酸化物の物性はその電子状態に依存し、全ての各遷移金属元素に固有な極めて特異な物性を示すことが知られています。いわゆる‘強相関係’が示すバラエティーに富んだ物性は現在の固体物理の中心分野となっています。遷移金属の電子状態は、その構成元素が作り出す結晶場によって大きく変化し、この結晶場の自在な制御がまさに機能制御法の本質となっています。考慮すべき可変パラメータが多い体系で物質設計を行なうには常に全体系(電子構造と結晶構造)を見わたしながら個々の化合物の研究の位置付けを見極める必要があります。我々は化学的物質感に基づく戦略に則り様々な磁性体、電子伝導体、イオン伝導体を作り出してきました。その総数は100を超えています。また、これらの酸化物の個性を見極めて組み合わせることにより、新規なデバイスの設計も行っています(図2)。

既存概念にとらわれず斬新なアイデアで物質設計を行ない、物性評価を通してフィードバックしながら、基礎研究あるいは実社会で要求される新機能を備えた酸化物の設計指針の構築が我々の使命です。

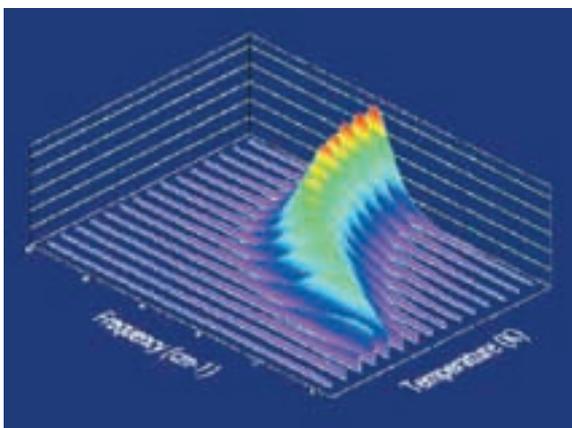


図1 強誘電転移温度に向かって周波数を減らす強誘電ソフトモード (SrTi¹⁸O₃)



図2 24V, 1kHzで発光する全て酸化物で作成したエレクトロルミネッセンス(EL)素子(産業技術総合研究所との共同研究)。

ナノ磁性物理・スピントロニクス

ナノ磁性において観測される新しい物理現象を利用して、原子・電子スピンを操作し、新機能性を創出しようとする研究分野—スピントロニクス—が注目されています。我々のグループでは、最先端原子層レベル薄膜成長技術（MBE技術）・ナノ微細加工技術（リソグラフィ技術）を利用することで、ナノスケール磁性体を半導体、強誘電体などの異種材料とヘテロ構造化することを通して、新たに発現する量子的電子・磁気状態の探求と、そのスピントロニクスへの応用展開を目指しています。とりわけ「スピン注入」「スピン検出」「スピン操作」に関する物理・応用物理の基礎研究に注力しています。

磁性体/半導体ヘテロ界面におけるスピン注入とそのメカニズムの解明

ナノ磁性体と半導体とを原子層レベルでヘテロ構造化し、接合界面におけるスピン依存電子伝導現象を解明することで、電子スピンを半導体などの非磁性体に注入する手法の確立を目指しています。具体的には、磁性体から半導体量子井戸にスピン偏極した電子を電気的に注入し、光学的遷移の選択則に基づいて電子と正孔が再結合する際に生じる発光の円偏光度を解析することでスピン注入効率の定量化を行います（図3）。高効率なスピン注入を実現するためには、スピン蓄積・スピントランスファ、さらには接合界面における磁性体と半導体の波動関数のk空間での接続等、内在する表面・界面物理を丁寧に解析する必要があります。それらの物理的考察を通して、新機能性を実現するためのビジョンを提案することは、物理、応用物理研究における醍醐味の一つです。また、フェムト秒レーザーを用いたスピン注入現象のピコ秒時間分解計測を用いたスピンダイナミクスの研究にも取り組んでいます。

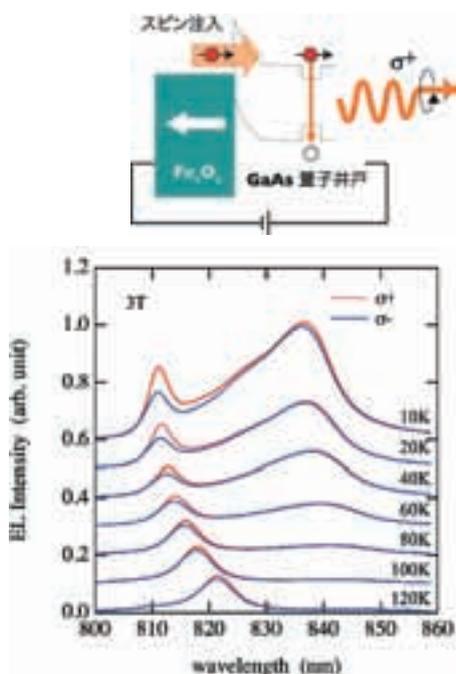


図3 Fe₃O₄/GaAs量子井戸ヘテロ界面を介したスピン注入過程とそれによる円偏光発光。

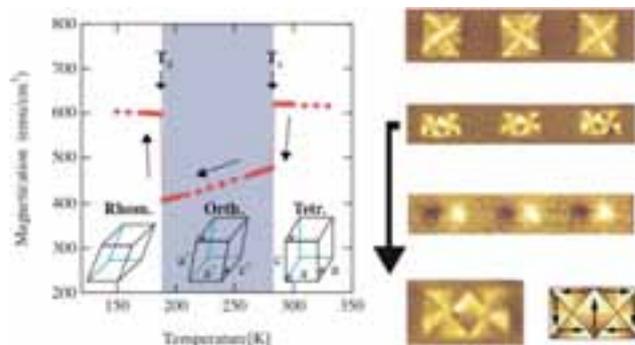


図4 Fe/BaTiO₃(001)ヘテロ構造の磁化の温度依存性とマイクロFeドットの磁区構造。BaTiO₃の構造相転移に伴いFeの磁化が変化する様子が観測される。また、ドットの大きさにより様々な磁区構造も実現できる。

強磁性体/強誘電体ヘテロ構造を利用した電圧印加型磁気ビット操作

磁性体を用いた記録メディア（ハードディスクやメモリ）の開発、また、それに付随した新しい物理現象の探求が世界各国で精力的に行われています。特に、磁気メモリ（MRAM）における磁性層の高速磁化制御とその低消費電力化に対する革新的技術の要求は高まるばかりです。しかし、現在最も注目されているスピン注入磁化反転を利用した磁化操作技術は大電流を必要とするため、電力消費を抑制できない等の問題点を抱えています。我々は、この電力消費の問題を回避するために、強磁性体と強誘電体のヘテロ構造を利用し、逆磁歪効果に起因する磁性体の磁気ビット操作を狙っています（図4）。これにより、原理的には電流を流す必要が全くなくなり、消費電力をきわめて小さく抑えることが可能となります。

強磁性—反強磁性転移型遍歴電子型磁性体へのスピン注入と磁気秩序制御

これまでに多様な磁気転移を示す物質が数多く見出されていますが、強磁性—反強磁性転移を示す遍歴電子型磁性体は、磁性、電子遍歴性、格子が相互に複雑に結合することで特異な現象を示す興味深い物質です。それらの物質群の研究は、これまでバルク形態において主としてなされてきましたが、長距離磁気関連に変調を加えることでその物理現象の本質を有限サイズスケーリング等に基づいて捉えることが可能です。我々は、これらの物質群を薄膜や細線にナノスケール構造化することで磁気構造、強磁性—反強磁性転移の本質を解明する研究を推進しています。また、これらの物質群に対して我々のグループにおいて実績のあるスピン注入実験を行うことで、スピン流による磁気秩序制御の可能性についても検討しています。これによる新しいスピン源の創製も本研究のターゲットの一つです。

◆ 佐々木研究室

身近な材料で自然の世界を覗く

<http://www.materia.titech.ac.jp/sasaki.html>



佐々木 聡 教授

固体材料の電子的な性質（機能や物性）と結晶構造との関係を知ることが、エレクトロニクスを始めとする多くの分野で重要です。佐々木研究室では、マイクロ領域での結晶構造や電子構造が、どのようにマクロの世界にかかわっているかを明らかにしたいと考えています。このため、セラミックスなど機能性材料の結晶構造解析、混合原子価化合物での相転移や電荷秩序・価数揺動状態の研究、磁気吸収やX線共鳴磁気散乱による磁性材料の研究、機能性酸化物での電子状態研究、計算機シミュレーション、高温高圧下での構造物性研究、地球・惑星物質の局所構造解析、高集積熱電変換による廃熱回収システムといった研究課題について、原子や電子レベルで見た結晶構造と物性の関係を調べています。

電子状態や電荷整列の研究

光が物質にあると、吸収・反射・屈折・散乱・回折などの現象が起き、物質の電子状態が変化します。物質を構成する原子の大きさや物質内電子のエネルギーに合った光（X線）を用いると、物質内の原子や分子の配列や化合物の電子状態の研究が行えます。これらの研究を先端的に行うには、大型加速器によるシンクロトロン放射光や中性子などの利用が不可欠です。連続性・偏向性・平行性を利用した新しい放射光測定技術としてX線回折散乱に分光学的手法を取り入れ、結晶内原子の電子状態を研究しています。

元素の吸収端近傍でX線異常散乱を利用すると、価数の異なるイオンを共鳴散乱能の差でX線的に区別でき、少量の価電子や磁性電子の特徴が議論できます。マグネタイト（ Fe_3O_4 ）をはじめとする遷移金属フェライト結晶や Eu_3S_4 などの希土類元素化合物で価数揺動や電子的秩序状態など固体内電子の描像を求めています（図1）。

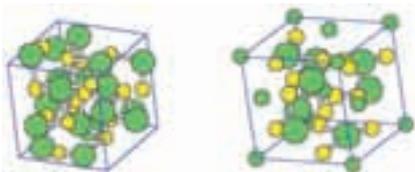


図1 Eu_3S_4 の高温相(左)と低温相(右)。低温相では4aサイト(緑小球)に Eu^{3+} が、8dサイト(緑大球)に Eu^{2+} と Eu^{3+} が1:1で入る。

磁気状態や磁気構造の研究

軌道磁気とスピン磁気モーメントは、マクロな磁性を理解する上で基本的な量です。研究室では、磁気光学効果であるX線磁気円二色性(XMCD)実験やX線共鳴磁気散乱実験により、遷移金属・希土類元素酸化物や硫化物の電子状態や磁気状態を研究しています。電荷移動型半導体 LaCoO_3 についてのXMCD研究から、 Co^{3+} の中間スピン状態($t_{2g}^5 e_g^1, S=1$)の存在が確認できました。また、Laをアルカリ土類金属で置換した $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{CoO}_3$ ($M = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)では、Coイオンの強磁反強磁性的二重交換相互作用が置換元素の大きさに依存することがわかりました。フェリ磁性 NiFe_2O_4 のXMCD実験スペクトルとマグネタイトFeイオンの理論電子密度分布を示します(図2)。

この手法は蛍光分光法を用いることで、薄膜試料にも適用できます。透明で室温強磁性であるCoドーパ TiO_2 薄膜について、Co K吸収端でXMCDとXANES解析を行いました。その結果、薄膜中のCoイオンは Co^{2+} 低スピン状態にあり、そのイオンがイルメナイト部分構造をとって単位胞双晶の境界に存在し、この特異な結晶構造が強磁性を発現させていることがわかりました。

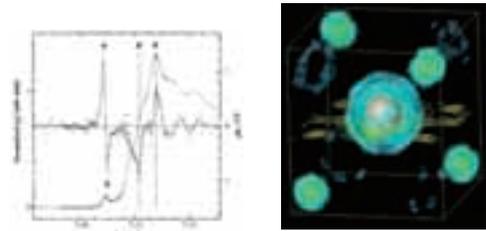


図2 NiFe_2O_4 のXMCDと Fe_3O_4 内AサイトFeの理論電子分布

磁気構造解析には中性子を用いるのが一般的ですが、中性子回折では価数や元素選択的な解析が困難なため、研究室では放射光X線共鳴磁気散乱による磁気構造解析法の開発を行っています。M型フェライト($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)では、c軸方向の自発磁化の磁気異方性が Fe^{3+} を Co^{2+} と Ti^{4+} で置換することで軽減できます。この原因を調べるために、3種の元素が占める5つの独立サイトでの席占有率や磁気モーメントの配列を、高エネルギー加速器研究機構PF-BL3A/6Cを利用して詳しく研究しました。図3に、Fe K吸収端の左右円偏光X線を用いた共鳴磁気散乱の実験から得られた磁気構造を示します。

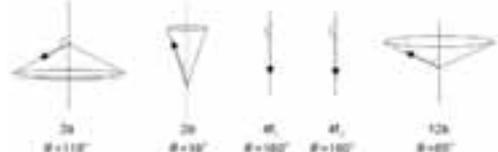


図3 $\text{BaCoTiFe}_{10}\text{O}_{19}$ のFe磁気モーメントの傾き(5サイト)

熱電変換素子の開発と廃熱利用

地球温暖化や化石燃料の枯渇化が叫ばれる中、熱電発電はスケール効果が無視でき低密度廃熱のエネルギー変換として期待できます。実用化には熱電性能や耐久性の向上と低コスト化が必須で、高温熱電用酸化物材料の開発とともに、熱電素子パッケージ化(図4)の共同研究を進め、低密度廃熱利用の熱リサイクル構築を目指しています。

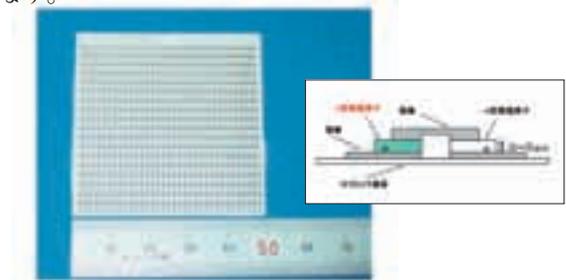


図4 p-n型素子デバイスの612対インプリント熱電モジュール

◆川路研究室

機能性物質の相転移機構を探る

<http://www.materia.titech.ac.jp/kawaji.html>



川路 均 准教授

川路研究室では、結晶の構造とその物性との相関に関する基礎的研究を行っています。主に多くの材料の機能性に大きな影響を与える相転移現象について、出現機構を検討するとともに相転移温度などの制御の可能性を検討しています。特に結晶中に部分的な規則性の乱れを導入することによる相転移現象の制御について、詳細に調べています。さらに相転移現象の制御による材料の機能性制御についても世界最高精度の熱測定技術などを駆使し自由な雰囲気中で活発な研究活動を展開しています。

研究テーマ

●誘電体結晶の相転移に関する物性研究（強誘電体、リラクサー、インコメンシュレート相転移、巨大粒度効果）

種々の誘電体結晶における逐次相転移現象、なかでも強誘電相・圧電相あるいはそれらの相転移が凍結させられたリラクサー、さらにはある種の自由度（分子の配向など）の周期が結晶の並進対称性とずれた周期をもつインコメンシュレート相の発現などに注目し、その機構解明をめざした研究を行っています。物質の標準エンタルピー、エントロピー、ギブズエネルギーなどの熱力学諸関数の絶対値を決定するとともに、誘電率測定や分光学的手法を駆使して総合的な研究を進めています。

●超イオン導電体に関する研究（イオン導電性、格子欠陥、格子欠陥誘起現象）

燃料電池を始め各種電池材料やガスセンサーなどへの応用が期待される超イオン導電体について、構造と熱物性およびイオン伝導機構との相関を調べています。とくに高温におけるイオン伝導性を支配する欠陥構造が極低温において低励起格子振動モードを誘起することから、極低温領域での精密熱容量測定により、欠陥の分布と規則性に関する知見を得ようとしています。またイオンの欠陥構造や微視的運動と巨視的物性量の関係を明らかにし、イオン伝導機構を解明するために分子動力学シミュレーションを行っています。

●新物質 C₆₀ および関連化合物における分子運動と相転移現象に関する研究（フラーレン、純度効果、回転転移、超伝導）

フラーレン結晶における分子運動と相転移現象の機構を調べています。また極低温領域における格子振動の解析と精密熱容量測定からこれらの籠状分子が示す特異な格子振動モードと状態密度について研究を進めています。さらに TDAE-C₆₀ が示す強磁性相転移現象や、A₃C₆₀ における超伝導相転移現象などについても研究を進めています。

●熱容量分光法をはじめとする新熱測定技法の開発とその応用（熱容量分光法、ナノカロリメトリー）

熱容量（比熱）は、本来熱力学的平衡状態で定義される静的物性

量ですが、ガラス転移などの緩和現象が関与すると周波数依存性が観測されます。これを精密に検出する熱容量分光法を開発し、誘電率測定、赤外・ラマン分光法などによる実験と合わせて、緩和現象の詳細な解析を行っています。また、同時に超微量試料で測定が可能な熱容量測定技法の開発研究を行っています。

●機能性材料における格子振動と相転移に関する研究（機能性材料、熱容量、相転移、格子振動）

ダイヤモンドやこれに比肩し得る物性が期待されている cBN、さらにはグラファイト、hBN あるいは窒化珪素などについて精密な熱物性測定と格子力学に基づく詳細な解析を組み合わせて構造と機能性との相関を明らかにしようとしています。また酸化物超伝導体あるいは有機超伝導体および関連化合物についても、超伝導機構や分子運動と相転移現象の詳細を解明するために、13 T の磁場中熱容量（比熱）測定など、基礎的研究を行っています。

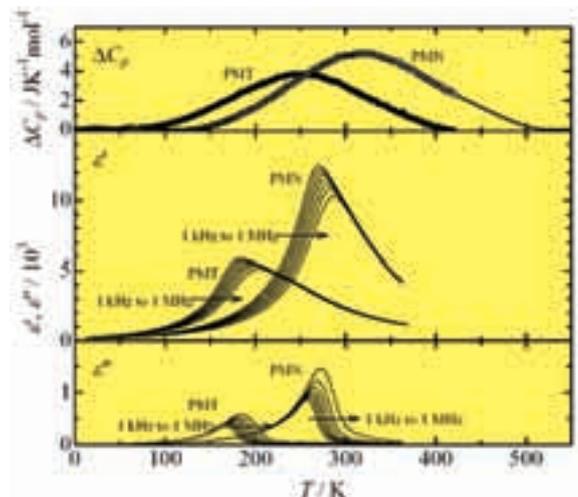


図1 リラクサー PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O₃ (PMN) および PbMg_{1/3}Ta_{2/3}O₃ (PMT) の誘導率と強誘電ナノ領域の成長による過剰熱容量

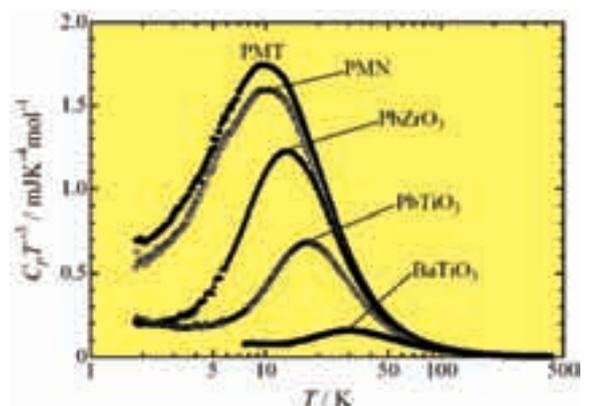


図2 リラクサーおよび典型的な誘電体の低温熱容量

◆ 細野・神谷研究室

自分たちが創った材料で世界を席卷する

<http://www.materia.titech.ac.jp/hosono.html>



細野 秀雄 教授 神谷 利夫 准教授

1. 研究室の目指すもの

膨大な数の「物質」の中で、人間の社会に直接に役に立つものが「材料」です。私たち研究室は、自分たちが打ち立てた材料設計指針をもとに、以下のような新しい材料を開発しています。

(1) 酸化物でシリコンを凌ぐ半導体デバイスを実現する。

- ・私たちは、透明酸化物半導体(Transparent Oxide Semiconductor:TOS)という新しい研究領域を開拓してきたパイオニアです。
アモルファス酸化物半導体で、最高の性能を持つフレキシブルトランジスタ(図1,2)を開発し、フレキシブルTV、電子ペーパーに新しい有望な材料を提供しました。

(2) 酸化物を持つ特有の結晶構造を利用して新しい機能を創る。

- ・0.4 nmの大きさのかご構造からできている結晶C12A7をベースに、新しい透明導電膜、高輝度電子放出源、有機発光TV用高性能電極、反応触媒、超伝導などの機能を開拓しました。
- ・層状構造を持つ混合アニオン化合物で、室温励起子発光ダイオードや新しい高温超伝導材料系などを開拓しました。

(3) 材料研究の新しい潮流「ユビキタス元素戦略」

私たちは、今までは希少金属を使ってしか実現できていなかった機能を、CaやAlなどの豊富で無害な元素だけを使って実現しようとする「ユビキタス元素戦略」を提唱しています。これは、政府の科学政策の大きな柱の一つとなり、2008年から新しい国家プロジェクトを始めました。上述のC12A7や深紫外ファイバー(図1)はそのもっとも成功しているユビキタス材料の例です。



図1 透明電子活性の樹(こんな具合に育って欲しいという図)

材料研究はしばしば、すでにある材料の開発に終始してしまいがちですが、これまでに作り出された画期的な新材料—ナイロン、カーボンファイバーや高温超伝導体など—は、そのような改良研究からは決して生まれません。物質の内部で何が起きているかをしっかり調べ理解すると同時に、他人とは違った発想とアプローチで研究をする必要があります。

私たちが目的としているのは、このような独自のアプローチにより新しい物質と機能を創り出し、それらを人の役に立つ「材料」へと進化させることです。Nature誌やScience誌などの世界トップの学術誌に掲載される研究成果をあげ、企業と連携し産業化するとともに、その実践研究の過程で「真の材料研究」のセンスをもつ学生を育てることを理想としています。

2. アプローチの特徴

酸化物は、その構成元素が資源的に豊富で、かつ環境調和性に優れたものが多くあり、古くから陶磁器やガラスとして人類の発展を支えてきた材料です。それにもかかわ

らず、酸化物中で電子が主役を演ずる機能は、以前は殆ど見出されていませんでした。これは酸化物の本質によるものではありません。私たちは、酸化物結晶に内在する特徴的なナノ構造に着目し、その電子状態や欠陥構造を制御・活用することで、新しい光・電子および化学機能をもつ材料を創り出すことを目指しています。ただ試料を作るだけではなく、計算と実験の両面から電子状態を調べて物質のイメージを作り、研究方法を考えています。独自の視点からのアイデアに基づいたアプローチで、世界で「初めての」、「最高の」、あるいは「唯一の」結果を出せるよう、研究を進めています。

3. 研究室の構成

- スタッフ： 細野(光機能材料、透明半導体、磁気共鳴)
神谷(計算材料設計、半導体薄膜、電子デバイス)
平野正浩 客員教授(光物性、固体物理学)
柳博 助教(固体電子物性、物質探索)
松石聡 フロンティア研助教(固体科学、欠陥電子物性)
- 学 生： 博士課程7名、修士課程10名、学部4年生1名

プロジェクト：

現在、次の3つのプロジェクトを通して研究を進めています。

- 科学技術振興機構 戦略的創造研究継続研究(ERATO-SORST)(期間：2004.10～2009.9)
 - 科学研究費学術創成研究(期間：2004.4～2009.3)
 - 文部科学省元素戦略プロジェクト(期間：2008.10～2013.9)
- これらのプロジェクトでは博士研究員7名が活躍しており、研究室学生と緊密な連携をして研究をしています。

4. 方針

領域にとらわれずに世界で活躍できる一流の研究者を育てるため、実施研究と輪講を中心とした方針を採っています。最先端の設備を自由に使える環境の中で、個々の学生が高い独立性を持って研究をするとともに、テーマの異なる学生・職員間でも忌憚のない自由な議論、情報交換をすることを重要視しています。

優れた成果が得られれば、学生自身が国際学会へ参加したり一流国際学術誌に論文を書いたりしています(D2, D3の学生がそれぞれScience誌に論文を発表しました)。

また、学生の研究成果が評価され、以下のような表彰を受けています(過去9年間)。この中には、修士1年の時に出した成果も含まれています。

国内学会： 講演賞[応用物理学会、化学会等]10名、論文賞 2名

国際学会： 講演賞[米国材料学会等]2名、ポスター賞 2名

井上研究奨励賞(自然科学全分野で50件/年の博士論文に授与) 2件

先端技術大賞材料分野 2件

5. 研究テーマ

(1) 曲がる高性能透明トランジスタ:透明酸化物半導体



図2 (左) 透明フレキシブルTFT。アモルファスシリコンや有機TFTより一桁以上高い特性を示す。(中) 透明フレキシブルTFTで凸版印刷が試作した曲がる電子ペーパー。(右) 透明フレキシブルTFTでサムソンが開発した12インチ有機ELディスプレイ。

私たちは、1997年に世界で初めて、P型透明酸化半導体の設計法と具体例をNature誌に報告し、透明酸化物エレクトロニクスという新分野を開拓しました。2004年には、酸化半導体の長を活かして、フレキシブル透明トランジスタ(TFT)を実現しました。このトランジスタは世界でトップの性能を示し、Nature誌にも掲載され、世界中の大学や企業が研究を開始しました。この僅か4年の間に、曲がる電子ペーパーや12インチの有機ELディスプレイなどが試作されるなど、大きな反響を呼んでいます。自分たちの創った材料で世界を席巻する例になりつつあります。

(2) ユビキタス(ありふれた)元素戦略:ナノ籠構造と包接イオン多様な機能を創る

これまで、酸化物の多様な機能は遷移金属や希土類イオンなど陽イオンを変換することで実現してきました。私たちは発想を変え、陰イオンの状態を制御することで新しい可能性が拓けないか、という視点からアプローチをしています。

$12\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7)は、酸化カルシウムと酸化アルミニウムというありふれた酸化物から構成されている、何の変哲もない物質と考えられてきました。ところが、原子レベルで結晶構造を見直してみると、陰イオン(通常は O^{2-} イオン)を包接できるナノ籠構造を持っていることがわかります(図3左)。合成法を工夫することで、ナノ籠構造中に様々なイオンを包接させることができます。例えば、空気中では不安定ですが最強の酸化力を持つことで知られる O^- イオンを、 10^{20} cm^{-3} 以上の高濃度で安定に含有させて、最も安定な白金さえ容易に酸化できました。また、C12A7は典型的な絶縁体であると信じられていましたが、 H^+ イオンを包接させて紫外光や電子線を照射することで、透明で電子がよく流れる状態に変えることに成功しました。さらには、電子を包接させることで、世界初の室温で安定なエレクトライドC12A7:e⁻を実現し、電界放射型ディスプレイ(図3右下)、電界効果型トランジスタや有機発光ディスプレイなどへ応用できることを実証しました。さらにこの材料は、超伝導も示します。

このように、ありふれた原料だけから構成される材料でも、ナノ構造を巧く利用することにより、多様な電子・光・化学機能をひきだすことができます。このアイデアを追及していくことで、深刻化している環境・エネルギー問題の解決に大きく寄与できるスーパーセラミックスが誕生すると期待しています。

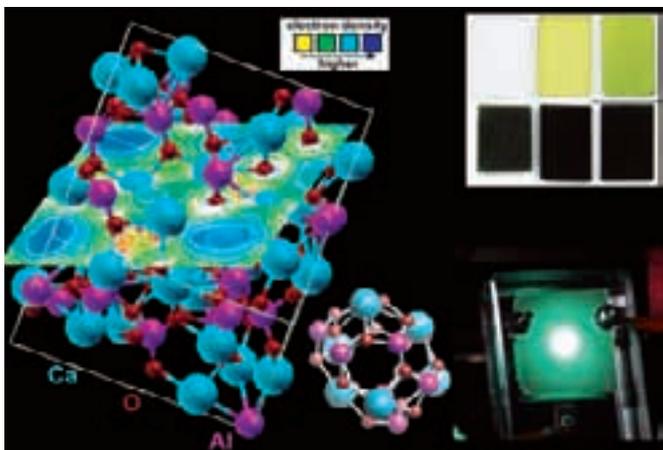


図3 (左) エレクトライドC12A7:e⁻の結晶構造と電子分布。(中央) ナノ籠構造(籠の内径は~4 Å)。(右上) 電子が生成する様子が色の变化でわかる。(右下) 電界放射型発光デバイス。

(3) 独自の攻め方で新材料を探す:新しい高温超伝導体

材料の結晶構造を覗き、電子構造に思いを馳せ、物性との関係について考えると、どのようなアプローチで新しい特性を持つ材料を作ったらよいか、アイデアがでできます。

超伝導は数ある固体物性の中でも最も劇的でかつ明快な現象です。また、超伝導転移温度(T_c)の高い新物質が見つければ、その社会的インパクトの大きさは比類ないほど大きなものです。私たちの研究室では、2006年にこれまで磁性原子である鉄の化合物は超伝導にならないという常識を覆し、2008年2月には $T_c = 32\text{K}$ の LaFeAsO を報告し、世界的ブームを巻き起こしました。現在、最高の T_c は56Kに達し、銅系材料以外では一番高くなっています。どこまで T_c があがるか世界中で競争になっています。本家である当研究室も秘策を持って頑張っています。

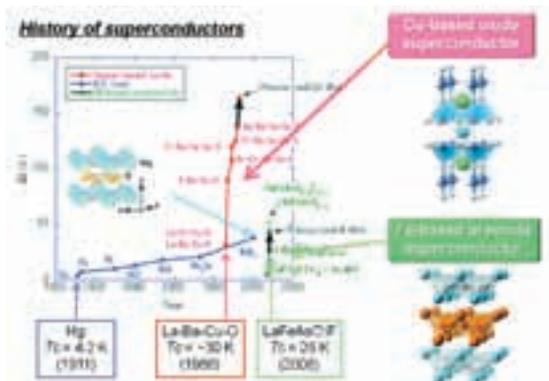


図4 超伝導の歴史。当研究室が発見した鉄系がどこまで超伝導転移温度があがるか、世界中が注目しています。

(4) 境界領域に切り込む:透明酸化半導体との界面制御で有機デバイスの課題を克服する

真に新しい材料を開発するためには、広い知識と異分野の研究者の協力が欠かせません。ここまで書いてきたように透明電子活性酸化物は多くの面白い機能を示しますが、それらを実用化し、人類の役に立てるには、他の材料、デバイス、システムと整合性のある機能設計、プロセス開発をする必要があります。私たちは、21世紀の材料科学は、有機、バイオ分野との連携が必須だと考えています。逆にこれら分野もまた、深紫外透明導電体や光・電子機能層の開発に、酸化物材料との連携を必要としています。私たちは、酸化物研究を他材料へ広げ、その上で酸化物を材料・デバイス研究の主役に押し上げるための戦略を進めています。

高性能有機EL/TFTを作製でき、電子構造と物性を大気開放せずに評価できる装置(図5右)や表面機能を開拓するための超高真空走査トンネル顕微鏡、20 nmサイズの超微細デバイスを作製できる超高精細電子線描画装置など、さまざまな新しい武器を使って、酸化物の新機能開拓を行っています。最近では、電子ドープしたC12A7やp型透明半導体 LaCuOSe が、有機EL用電極として、これまで報告されてきた材料よりも優れていることがわかってきました。



図5 (左) 電子ドープC12A7を電子注入電極として使った有機EL素子。(右) 電気測定チャンバーと紫外/X線光電子分光測定チャンバーを持つハイブリッド有機デバイス作製装置。

(5) 新材料・機能を創るために:理論と実験による電子状態の解析

やみくもに実験をしても、新しい機能・材料を見つけることはほとんど不可能です。私たちは、正・逆光電子分光法、パルス電子スピン共鳴法やX線回折法などを用いて、物質や欠陥の電子状態を直接的に実験で観察しています。さらに第一原理計算を併用することで物質のイメージを作り、物質探索や材料設計の指針をたてて開拓研究を進めています。図6は、C12A7の中でのかご構造のひずみをX線構造解析と第一原理計算で調べた結果です。C12A7中の電子数が増えるにしたがってかごの形がきれいになり、電子の通り道である波動関数が広がっていく様子が見えます。

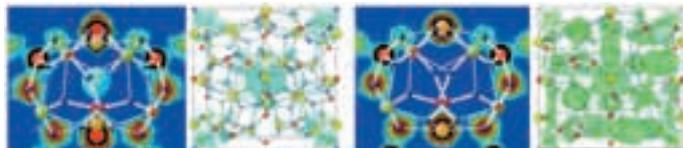


図6 (左から1番目、3番目の図) MEM/Rietveld解析で観測した電子密度。左のかご構造は酸素イオンが入っているためにひずんでいる。(左から2番目、4番目の図) 第一原理計算で求めたかご構造のひずみと電子密度。電子数が多くなってかごの形がきれいになると、波動関数が結晶全体に広がる(右図)。

◆ 岡田研究室

色々なことに興味を持つ

<http://www.materia.titech.ac.jp/okada.html>



岡田 清 教授

はじめに

携帯電話、パソコン、自動車、航空機、ロボット…私達の身の回りには生活を便利で快適にしてくれる様々なものがあります。これらの色々な工業製品の進歩・発展にはいつも“材料”の進歩がキーとなっており、材料研究はますますその重要性を増しています。このような時代に、材料について幅広く学ぶことのできる本専攻は、魅力にあふれた学びの場といえます。

研究について

20世紀は科学技術の時代、特に後半の数十年の間に著しい進歩・発展があり、私達は現在その恩恵を受けています。しかし、その一方で様々な地球規模の環境問題が明らかになってきました。そのため、21世紀は環境の時代ととらえられ、また、そのような観点に立った社会を築いていかないといけないのは明らかです。私達の研究室では、このような観点からセラミックスを用いた環境材料について研究しています。

セラミックスを用いた環境材料として、例えば、環境浄化機能に優れたセラミックスや、未利用天然資源や廃棄物を有効利用した新材料など、およびそれらの様々な用途のための高機能な多孔体を創り出そうという研究などです。一つの大切に考えているコンセプトに、天然物の持つ特長をよく知り、研究することにより、「自然から学ぶ」ながら、新しい機能を持つ材料を創り出したいということです。同時にそれらの研究の基本となる、無機化合物の結晶化、相転移、相分離、表面構造などについて基本から理解し、それを材料に活用していこうとするタイプの研究も行っています。新しい“何か”を見つけるのには異なった考えの出会いとそれらを受け入れるフレキシビリティとその中からオリジナリティを創っていく努力が重要だと思います。材料物理学専攻には、東工大だけでなく様々な大学および専門分野の学生が学んでおり、まさにそのような環境に恵まれた専攻といえます。

研究テーマについて

微構造および表面制御によるセラミック多孔体の作製とその材料応用に関する研究

多孔体は基材と孔から組織されており、孔の大きさと表面性状から様々な機能を発現できます。私達は特にその中で“水”との関わりに対して興味を持ち、それに関係したいくつかの研究を行っています。孔の大きさと水に対する親和性を制御することにより、さまざまな相対湿度の領域で水蒸気を吸脱着できる多孔体を造ることができます。例えば、相対湿度が10~30%の範囲で吸脱着が大きなマイクロ孔材料をつくることができれば、水蒸気の吸脱着エネルギーを利用したケミカルヒートポンプに利用できます。一方、毛管凝縮と蒸発により50~70%の範囲で吸脱着するメソ多孔体は私達の生活環境を快適な湿度に調節できる調湿機能材料として有用です。このように、省エネルギー用途につながる機能を持つ多孔体を様々な方法で作製することを研究しています。

上記した多孔体よりもずっと大きなmmオーダーの孔を有する多孔体には毛管力による揚水とその蒸発による冷却効果が期待でき

す。私達は図1に示すように、孔の大きさを均一にし、さらにそのつながる方向をそろえることにより、ポンプなどのエネルギーを使わない毛管力だけで1m50cmもの高さまで揚水させることに成功しました。現在、この材料を用いた自律的蒸発冷却空間システムを提案し、ヒートアイランド現象を抑える一つの対策法として産学協同で実用への検討をしています。また、そのほかにも様々な応用展開についても考えています。

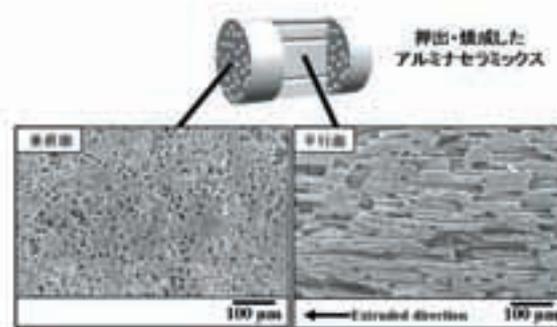


図1 気孔径とその配列を制御した多孔質セラミックス。

異なる化学的性質を利用した環境浄化材料に関する研究

重金属陽イオン、陰イオン、環境ホルモン、有害色素などなど、私達の身の回りには水質環境に悪い影響を与える物質が多く、これらを除去するには単機能ではなく複合的な除去機能を有する浄化材料が望まれています。私達は、各無機成分が3つの表面性状を有するグループに分けられることを考慮して、それらの組み合わせによる複合的な機能の発現を目指しています。例えばこれまでに検討した例として、陰イオン交換性のCaO、両性のAl₂O₃やFe₂O₃と陽イオン交換性のSiO₂を組み合わせた化合物群が挙げられます。これらの化合物はその異なる化学的性質の組み合わせとシナジー効果により、陽イオンと陰イオンを同時に除去できる特性を示すことが確かめられています。

その他にもAl₂O₃-Fe₂O₃系化合物とシュウ酸などの有機酸を組み合わせると、太陽光などの光エネルギーを吸収してラジカルを発生し、色素などの有機物を分解する能力が発現することを見つけ、現在その詳細について研究しています。

このようにユビキタスなありふれた元素でも様々な工夫によって、色々な面白い性質が見つけれられる可能性がまだまだ残されているのではないのでしょうか。

おわりに

新しいことや不思議なことなどに対して興味を持てることは、人間だけが持っている能力であり、発見や発明に必要なだけでなく、人として生きていく上でも非常に重要だと思います。“材料”について学ぶことは、自然にそのような能力を磨くことにつながっていると一言してもよいかもしれません。材料はあらゆる科学技術の分野に関係しているので、自分に適した将来を探す上でも多様な選択ができるメリットがあります。自分の将来を見つけにきませんか。

◆阿藤研究室

ナノスケールで起こる物質変化のリアルな描像

<http://www.materia.titech.ac.jp/atou.html>



阿藤 敏行 准教授

本研究室では、衝撃超高压力によって誘起されるセラミックスの相転移や化学反応を、微視的に調べることで、その機構を明らかとし、“壊れ方機能”という新しい概念に沿った材料開発を目指します。

従来の構造材料開発では、より強い材料を指向してきましたが、どのような材料であれ、得られる強さには限界があります。そこで、発想を転換して、自らが壊れることで、生命を守る機能を材料にもたせることが、可能なのではないかと模索しています。このような材料開発を通して、安全・安心な社会の実現に、貢献したいと考えています。そのための切り口として、本研究室では、“壊れ方”を新しい機能として捉え、デザインされた壊れ方を持った、新規構造材料を創成することを、将来的な目的とします。まず、基礎的な要素として、高速な衝突によって発生する衝撃波が引き起こす、構造相転移や化学反応を、ナノスケール以下の微視的な観点から研究します。

物体が秒速1 km以上という超高速で衝突すると、物体中に超音速で進行する衝撃波が伝播します。衝撃波が通過した背後では、マイクロ秒程度の短時間の圧力パルスにより、数万から数百万気圧という極超高压状態が実現し、さまざまな圧力誘起による相転移や化学反応が起こります。パルスのな衝撃圧縮環境下でも生じる高速な物質変化は、衝突や衝撃などに対して物質自身が応答する、アクティブな吸収体やセンサーなどとしての応用が期待できます。実際の実験には火薬の燃焼ガスにより飛翔体を高速に加速する衝撃銃と呼ばれる装置を用い、各種材料に対しての衝撃実験を行います。また、ダイヤモンドアンビルセルなどの静的手法も併用することにより、原子レベルでの構造相転移の機構を解明します。

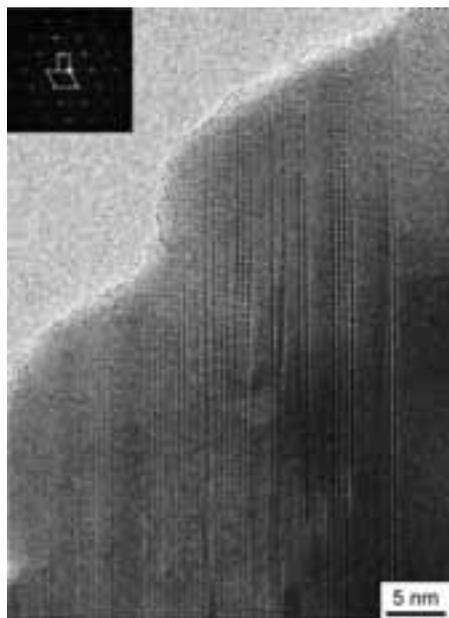


図1 9万気圧に衝撃圧縮したフッ化マンガンの高分解電子顕微鏡像。ナノスケールで高压相と常圧相がラメラ構造をとっている。

衝撃圧縮により誘起される相転移／化学反応

相転移という現象は、ジルコニアセラミックスの靱性化に見られるように、材料それ自身が内包するアクティブな特性であり、材料の高機能化にとって重要な役割を果たす可能性を秘めています。特に、衝撃圧縮により誘起される大きな体積減少をとまなう相転移や化学反応は、ナノからマイクロ秒という極短時間で起こる、きわめて特異的なプロセスです。このような短時間での物理的、および化学的变化は、我々の身近でも起こりうる、高速物体の衝突や、地震などによる建造物の破壊と、密接に関係しているものと考えられ、「安全・安心のための材料」という、セキュアマテリアルの開発という観点からも、きわめて重要な意味を持っています。研究方針としては、衝撃変成を受けたセラミックス材料を、種々の方法によりキャラクタリゼーションし、相転移や化学反応の原子レベルにまで踏み込んだ詳細な機構を調べ、さらに、これらの基礎的なデータを蓄積することにより、新しい安全な構造材料の開発へと展開させていきます。

コンクリート関連物質の衝撃圧縮挙動

現代社会で最も重要な構造材料、コンクリートの主成分であるアルミノケイ酸塩鉱物は地球上での存在量が大きく、安価に入手可能であり、環境負荷も小さい材料です。石英や長石などは、衝撃圧縮により約30%にもおよぶ体積減少をとまなう相転移を起こし、熔融ガラスよりも密度の大きなガラスとなることが知られています。また、コンクリートの固化に重要な役割を担うセメント中のカルシウムケイ酸塩水和物は多くの水分子を含みますが、その衝撃波に対する応答は分かっていません。これらの挙動が、微視的なレベルから明らかとなれば、所望の相転移特性を持つガラスやセラミックス材料を設計するための指針となり、新しい機能を持つコンクリートへの混和剤や、新たな高密度ガラスの製法への展開が可能となります。

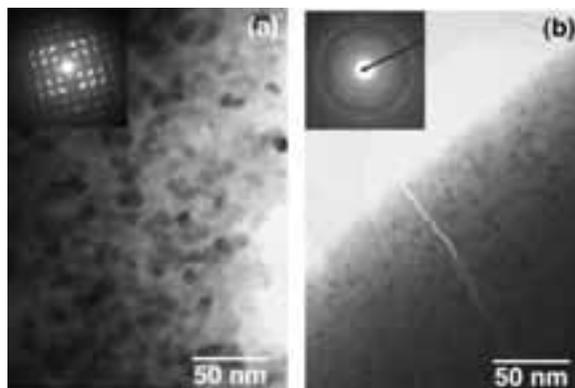


図2 衝撃圧縮したムライトセラミックス ((a) 49GPa (b) 65GPa) 相転移に伴うムライトのナノ結晶化 (a) や微細なγ-アルミナとSiO₂ガラスへの分解反応 (b) が見られる。

◆肥後研究室

ナノ・マイクロで創造する新しい MEMS 材料の世界

<http://www.materia.titech.ac.jp/higo.html>



肥後 矢吉 教授

材料の構造をナノメートルのオーダーで制御することにより、従来の材料に比べて特性を大きく向上させたり、今まで知られていない新しい機能を有する材料の開発、いわゆる「ナノマテリアル」の開発が世界的規模で進められている。このようなナノマテリアルの開発は、ナノテクノロジー技術の基礎となるもので、21世紀の基盤技術として大きな発展が期待されている。ナノマテリアルの創製プロセスはこれまでもいくつか考案されているが、本研究室では従来のコンセプトとは大きく異なる独創性のきわめて高い手法の開発を行っている。また、このようなナノマテリアルの材料創製のためには、ナノマテリアルの評価技術が重要である。これまでは、創製技術と評価技術は個別に開発されてきているが、創製技術と評価技術の融合が材料開発を迅速に進めるために、きわめて重要となる。

本研究室では、このようなナノ構造制御材料の開発と評価を有機的に融合させることにより、世界に先駆ける研究を進めている。以下にその具体的な研究テーマを記す。

方位制御型高機能ナノ結晶材料の開発

ナノテクノロジーの大きな目標の一つに、強磁性体ナノ結晶を非磁性体の中に析出、成長させることにより超高密度の記録素子を作る試みが精力的に行われている。この場合、ナノ結晶の方位を揃えることが、高密度化や書き込み、読み取りの S/N 比を向上させる上で不可欠となる。しかしながら、これまでの手法では、ナノ結晶を析出させることは可能であるが、その方位を配向させることまではできない。本研究室では、材料組成の制御に加えて、ある特定の応力を材料に負荷させることにより、2 nm の強磁性体ナノ結晶をアモルファス中に高密度かつ自己組織的に析出させることに成功した。図 1 にその透過電子顕微鏡写真を示す。

本技術は、高 S/N 比のテラビット級超高密度大容量磁気記憶媒体への応用が期待できる画期的な成果として注目を集めている。

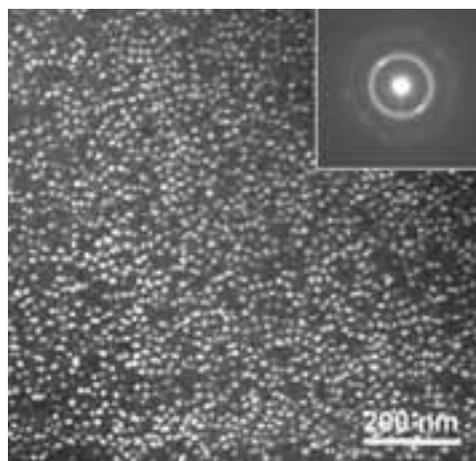


図 1 Ni-P アモルファス合金中に方位配向析出させたナノ結晶。一つの結晶のサイズは約 2 nm である。

ナノ構造制御による高性能 MEMS 材料の開発とその評価

MEMS (微小電子機械システム) は、基板上に生成させた薄膜に対して、微細表面加工を行い、一つの基板上に電子回路と微小可動部品を作製し、一つの微小デバイスとしたものである。このような MEMS デバイスは、光スイッチを始めとする光情報関連分野や、マイクロカテーテルなどのバイオ・医療技術を支えるものとして、今後大きな発展が期待されている。ところで、このような MEMS デバイスを構成する部品のサイズは、薄膜の厚さを基準とする寸法、すなわちミクロンオーダーになる。したがって、信頼性、耐久性に優れる MEMS デバイスを作製するためには、ミクロンサイズの材料に対する材料強化法の確立が必要となる。通常サイズの材料では、これまで結晶粒の微細化、析出物の分散等によって材料の強化が行われてきた。しかしながら、ミクロンサイズの構造体に対しては、このような材料強化法は使えず、今までの材料強化法とはまったく異なるナノメートルサイズを基本とする新たな材料強化法の開発が強く望まれる。そこで、本研究室では、微細構造物の局所領域にイオン注入を行う選択的な材料強化法の開発や、超音波を利用したショットピーニングと熱処理を組み合わせることにより、材料表面層のみをナノ結晶化させた表面ナノ構造制御材料の開発を行っている。ところで、このようにして作製したマイクロ材料について、機械的性質の評価が重要となる。本研究室では、ミクロンサイズの材料に対して、強度、靱性、疲労特性等の機械的性質の計測が可能な材料試験機を世界に先駆けて開発し、この装置を用いて微小寸法材料の評価を行っている。図 2 に開発した試験機の写真を示す。この評価試験装置は、現在のところ世界に 1 台しかなく、世界各国から国際共同研究の申し込みが相次いでいる。また、このような微小材料の機械的特性評価の国際標準化を目指した国際共同研究も実施している。



図 2 本研究室で開発したナノ/マイクロ材料評価試験機

◆ 曾根研究室

ナノ材料の新規創製技術の開発および材料組織解析

<http://www.ames.pi.titech.ac.jp/>



曾根 正人 准教授

次の時代に要求される技術はどのようなものが求められているだろうか？研究者はだれもがこの問題を問い続けている。材料工学の分野においては、様々な問題が提案されると考えられるが、ナノメートルオーダーで材料の構造制御を行って新機能性を持たせたマイクロ・ナノ材料の開発はその答えのひとつだろう。当研究室では、新規なナノ材料創製技術を開発し、それによる新材料の開発を行なうとともにマイクロサイズレベルでの材料の機能評価に焦点をあてた研究開発を行っている。また同時に、材料・構造物のプロセス評価と組織解析によるナノ構造の形成メカニズムの解明、マイクロ材料強化法への応用に関する基礎的な研究も行なっている。

薄膜形成技術のマイクロ・ナノオーダー分野への展開

現在、半導体製造技術では、DRAM ハーフピッチ (hp) が32nm という超微細配線技術の確立が求められている。同時に、半導体製造技術を応用した微細電子機械システム (MEMS) の要素技術開発が世界的な規模で行われている。本グループでは、この技術的要請に基づき、3つの新規なナノ材料の創製技術の開発を行っている。

一つ目は、二酸化炭素を反応媒体に用いる新規な表面処理手法の研究開発である。超微細な構造体の洗浄技術である超臨界二酸化炭素の洗浄に、当研究室で開発された超臨界無電解めっき手法や超臨界ナノプレーティング法を融合することで、超微細配線を可能としている。図1に、hp が120nm の埋め込み孔に、我々が開発した方法を用いて Cu を埋め込んだサンプルを、FIB で表面を加工し、走査型電子顕微鏡で観察した結果を示す。この図より、欠陥無く埋め込まれていることがわかる。この技術を洗練させるとともに、段差被覆性や密着性の定量的評価を行う。

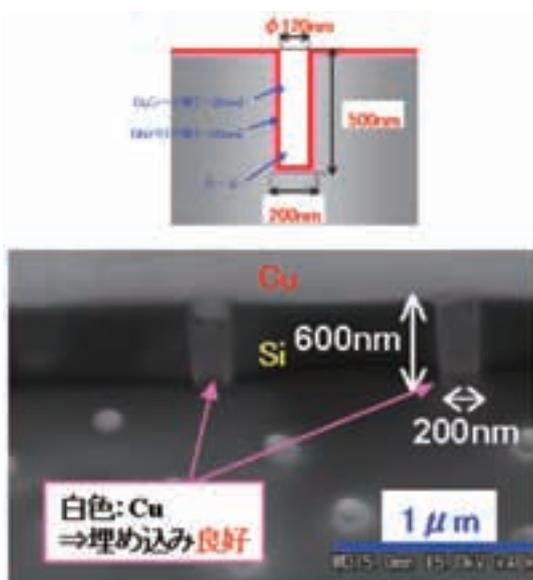


図1 半導体テストチップと新技術による銅の埋め込み

二つ目としては、金属材料の新しい展開として世界的に着目されている金属ガラスを、無電解合金めっき手法で作成する技術を開発した。この技術により、レジスト材料によりパターン化された基板への金属ガラスの埋め込みが可能となる。また、この材料を触媒として、超平滑な金属表面が得られることがわかった。

三つ目は、集束イオンビーム (FIB) により、アモルファス金属中で結晶方位をそろえたナノ結晶の作成である。これは、磁気配線への展開が期待できる。

組織解析による薄膜形成機構の解明と基板との密着性の解析

ナノサイズの構造を有する材料を作成した場合、基板との界面接合や欠陥が大きな問題となる。具体的には、ナノサイズの配線や機械システムを形成した場合、基板との密着強度に基板の結晶構造や結晶方位が大きく影響すると考えられる。本研究室では、基板の結晶構造や結晶方位と、その表面に形成される金属結晶の組織解析を行うことで、その問題を解決しようと考えている。また、結晶組織と界面の密着性の関係を同時に明らかにする。

例として、基板の結晶構造や結晶方位に着目し、結晶構造の異なる種々の基板 (Ni-P (アモルファス)、Cu (fcc、多結晶)、Ni (fcc、多結晶)) を用いて Ni 電気めっき膜の核生成挙動および成長挙動を XRD および TEM により調べた研究を説明する。Ni-P、Cu 基板上の Ni めっき膜は強い繊維集合組織を形成していたのに対し、Ni 基板上方では集合組織に異方向性が観察された。また TEM 観察の結果、どの基板の Ni めっき膜も界面付近において柱状結晶を形成していた。しかし Ni-P、Cu 基板上方のものは非常に微細であったが、Ni 基板上方のものは粗大であった。この粗大な柱状結晶が存在しているために、Ni 基板上方では異方向的な集合組織を形成していたと考えられる。今後は、Si 基板上方での銅配線の結晶構造や結晶方位を明らかにし、その組織解析結果と基板との密着強度との相関も明らかにする。

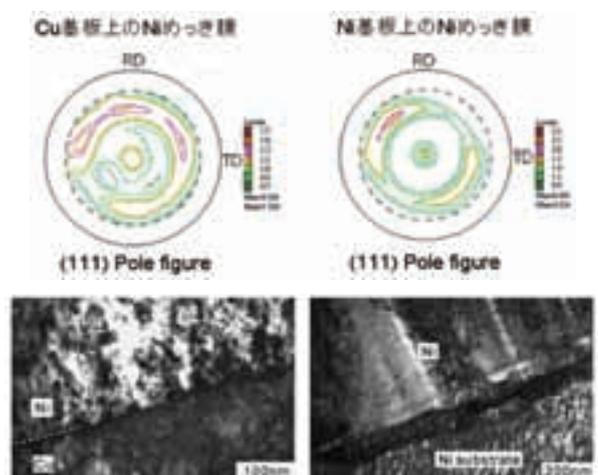


図2 Cu及びNi基板上のNiめっき膜の極点図及び界面のSEM像

◆若井研究室

ナノ・マイクロ世界の驚きを探求するセラミックス構造設計

<http://www.msl.titech.ac.jp/wakai.html>



若井 史博 教授

地球を構成する主要元素であるケイ素、アルミニウムなどの酸化物、窒化物、炭化物であるセラミックスは、硬い、化学的に安定、高温で使用できる、という特長があります。地球温暖化ガスによる温室効果の削減や省エネルギー化のための高効率発電システム部材、耐摩耗・高温構造部材、マイクロマシンデバイスなど、エネルギー、輸送、製造、建築システム等の要素部品として、多様な未来産業の基盤となる材料です。反面、本質的に脆く、巨視的強度はマイクロ欠陥に支配されます。安全・安心なシステムの実現に向けた材料レベルからのアプローチとして、セラミックスの脆性の克服とセラミック部材の信頼性の確保は挑戦すべき重要な課題です。

脆いセラミックスに室温で延性を付与することは未だ夢ですが、若井研究室では、セラミックスが高温でチューインガムのように巨大に伸びる超塑性という現象を世界で最初に発見しました。結晶粒の大きさがナノメートルスケールになったナノ材料は通常が多結晶材料の常識を超えた不思議な性質を示します。超塑性はナノ材料が示す意外な性質のひとつですが、ナノ材料の背後にはまだまだ未知の物性が数多く隠されています。本研究室では、ナノ・マイクロ構造デザインによって、超耐熱性から超塑性まで幅広く物性を制御し、画期的な特性をもつセラミックスの創製を目指します。さらに、「セキュア」な部材開発へのアプローチとして、焼結プロセスにおけるミクロスケールの粒子間相互作用をもとに、セラミックス構造設計 (Architectural design) の可能性を追求しています。

ナノ構造プロセッシングによる新材料創製

熱力学的に不安定なナノ材料をいかに実現するかが材料創製の課題です。ナノ・マイクロ粒子集合体では、高温で原子拡散により粒子間の結合が形成されます。この焼結現象はセラミックス製造プロセスの基礎です。ナノ構造プロセッシングとして、ナノ粒子の熱間静水圧焼結 (HIP)、焼結鍛造、メカニカルアロイングなどの手法を駆使して、新しい性質をもつセラミックスを次々と作り出すことができます。

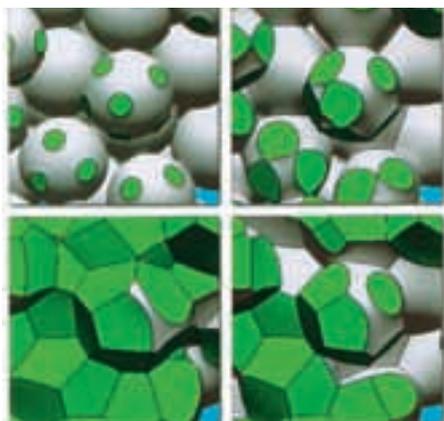


図1 焼結プロセスの3次元シミュレーション (2006)

高速超塑性を目指して

セラミックス超塑性は、ジルコニアで最初に発見されました。ジルコニアは鉄系合金のマartenサイト変態強化と類似した機構によって高強度・高靱性を示します。私たちはジルコニアだけでなく、窒化ケイ素、炭化ケイ素、バイオセラミックス、超電導セラミックスでも超塑性を実現しました。セラミックス超塑性の世界は想像力だけでどんどん広がっていきそうです。

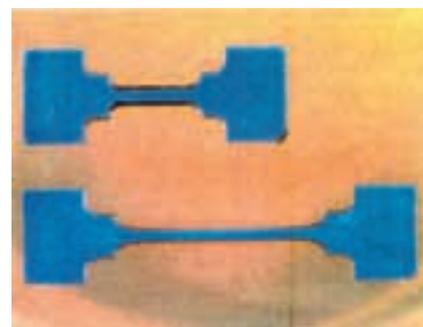


図2 窒化ケイ素の超塑性変形 Nature1990

超塑性の発見はセラミックスを自由自在に変形する成型加工技術を可能にしました。ジルコニア系複合材料では1秒で試験片が倍の長さ伸びる高速超塑性も可能となりました。地球上で最も硬い材料のひとつである窒化ケイ素や炭化ケイ素などで高速超塑性を実現することは挑戦的な課題ですが、超塑性成形の実用化につながるでしょう。

界面現象のダイナミクス

セラミックスは焼結技術を原点として発展を遂げ、その特徴は部材産業であること、すなわち、部材化技術が国際競争力と付加価値の源泉です。熱エネルギーを利用して多粒子集合体を緻密な部材へと変換するプロセスが「焼結」です。この本質は粒子間結合の形成であり、結晶粒間のマイクロ界面の形成とも言えます。古典的な実験研究の限界を突き破るには理論的な研究やシミュレーションが重要な役割を果たします。混沌としている物質世界もその奥底を流れているものは、実に明快、論理的なものがあることを明らかにします。さらに、私たちは微細加工技術を駆使して、組織形成プロセスにおける新概念やマイクロ力学原理を明らかにするための斬新な実験手法の開発に取り組んでいます。

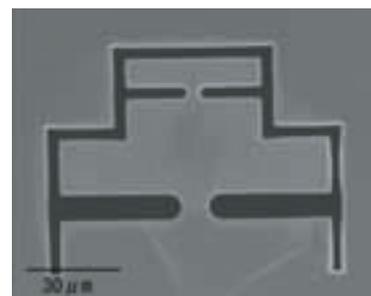


図3 微細加工技術による焼結のマイクロ力学原理の検証実験

赤津研究室

局所高応力場で見るセラミックスの破壊と変形

<http://www.materia.titech.ac.jp/akatsu.htm>



赤津 隆 准教授

セラミックスは変形や破壊に対し「融通の効かない」共有結合やイオン結合で基本的に構築されるため典型的に「硬くて脆い」材料です。しかし、亀裂先端、点接触部及び粒界などの極めて大きな応力が集中する場においては、セラミックスも特異な力学的振舞いを示すことが知られています。こうした局所高応力場におけるセラミックスの力学的性質を探索し、高性能構造用セラミックスを開発することが私たちの基本的な研究方針です。以下に現在行っている研究テーマの具体例を示します。

高靱性セラミックスの材料設計

亀裂先端での高い応力集中を緩和させる機構が作用しにくい通常のセラミックスは極めて脆く、これを構造用部材として危険なく使用するだけの技術は現状ではありません。従って、セラミックスの脆さ改善は工学上非常に重要です。破壊靱性値 (Fracture Toughness) を大きくすること、つまり高靱性化することが脆さを改善する1つの方法であることを破壊力学は教えてくれます。私たちは結晶粒界や複合材料における異種界面を利用して元来脆いセラミックスを高靱性化するにはどのような微細構造デザインが必要か? という難問に挑戦しています。例えば、セラミックウイスキー (ひげ状単結晶) を強化材としたセラミック/セラミック複合材料が通常のセラミックスよりも高い破壊靱性値や破壊エネルギー (Work-of-fracture) を示す現象を精度の高い実験によって実証し、その高靱性化機構をよく説明できるウイスキー亀裂面架橋モデルを提唱しています。さらに、ウイスキーの配向状態やウイスキー/マトリックス界面の制御によってより大きな高靱性化が達成できることを明らかにしました。

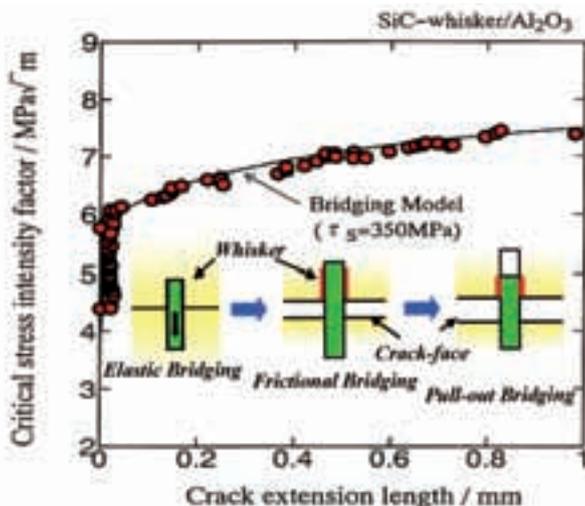


図1 ウイスキー強化セラミック複合材料の R 曲線挙動の実験値 (赤点) と亀裂面架橋モデルによる予測値 (実線)

ナノインデンテーション法によるセラミックスの弾塑性解析

古くから材料の硬さや脆性材料に対する破壊靱性値の評価手法として用いられてきたインデンテーション法の最大の特徴は、セラミックスといえども室温で塑性変形を生じさせるほどの圧子直下の高応力場であり、それに伴う弾塑性変形から局所的な力学的性質を場所場所で評価できる可能性をもっていることです。私たちはナノメートルオーダーで押し込み深さを制御・計測できる独自のナノインデンターを開発しました。このナノインデンターには外的変形を排除した「真の押し込み深さ」を直接測定できる特徴があります。これを用いてセラミック材料のインデンテーション挙動の評価・解析を行い、弾塑性変形と微細構造との関連を研究し、材料の「硬さ」とは何かについて探求しています。また、極微小押し込み深さでは材料の不均質性や異質性は必然的に無視できなくなるにもかかわらず、均質等方体を前提とした押し込み理論による解析が一般的です。私たちは圧子押し込みによる実験結果をより正確に解析するために、スーパーコンピュータを用いた有限要素解析を有効に活用しています。ナノインデンテーション法は上述のような基礎的研究ばかりでなく、マイクロマシンなどに用いられる微小材料評価など実用的側面でも有益であると考えています。さらにバルク体だけでなく、基板上の薄膜やテープ状試料も評価対象にできるメリットを有しています。

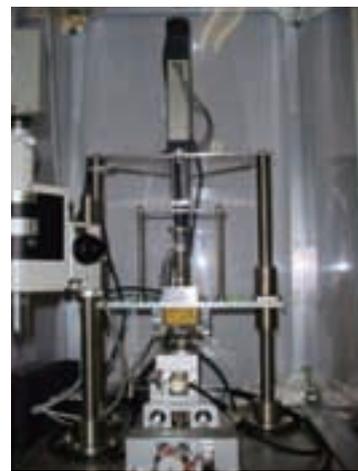


図2 自作したナノインデンター (特許公開中)。圧子直下に発生する高応力場での力学特性が評価できる。

研究室の特徴

赤津研究室は様々な大学、学科出身の学生により構成されています。新しいことに挑戦する機会をできる限り尊重しているため、個性を活かしながら研究をエンジョイしようという雰囲気があります。大学院の講義ばかりでなく、ゼミや研究などでの懇切な指導を通して、学生のレベルアップ・スキルアップを心がけています。修了後の進路は材料系に限らず多岐にわたっており、OBの方々は色々な方面で活躍しています。

◆高柳研究室

ゆったりと学ぼう

<http://www.materia.titech.ac.jp/takayanagi.html>



高柳 邦夫 教授

表面科学は、急速な進展を果たした。1927年に Devisson&Germer がニッケル表面の低速電子回折図形を得、1947年に清浄 Si(111) 7×7 表面の再構成がみつき、1948年に Brattin&Bardeen の半導体—金属点接触型トランジスタが現れて表面科学が産声をあげた。現在では、固体表面を原子レベルで観て、個々の原子を操作して、ナノスケール物質をつくることや、分子をつかって機能物質をデザインすることが可能となった。今、表面科学は、ナノスケール物質を作る探索研究フェーズからそれらの性質を解き明かす物性研究フェーズに展開しつつある。ナノスケール物質のキーワードは、“量子化”である。たとえば、ナノスケールの粒子中に閉じ込められた自由電子は新たな離散的電子状態をつくり、あたかも新種の原子のように振る舞うのである。

我々の研究グループでは、これまでの表面・界面科学を推進してきた研究基盤にたつて、表面研究に新展開を引き起こしつつある“ナノスケール科学 (Nano-Science&Technology)”を進めようとしている。以下に具体的なテーマの内容を記す。

量子コンタクトの室温量子化伝導

2つの電極を結ぶ接点の太さがフェルミ波長程度に細くなると、接点を流れる電子（正孔）の電気伝導度（コンダクタンス）が $2e^2/h$ を単位として量子化される。ここに、 e は電子の電荷、 h はプランク定数であり、単位の大きさは $(12.9k\Omega)^{-1}$ である。接点が大きくなると、コンダクタンスはその整数倍の値を取る。この特徴は、接点を弾道的 (ballistic) に通過する電子が量子化 (quantize) され、

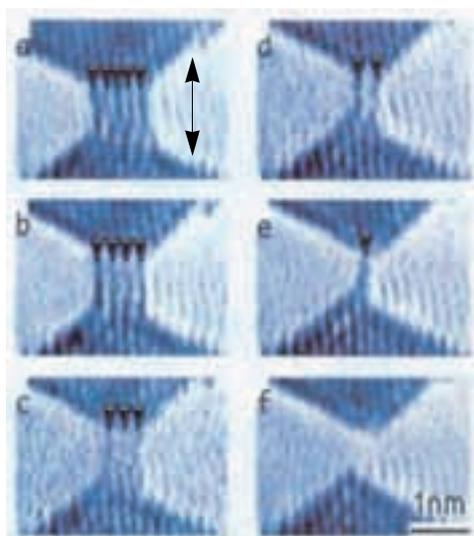


図1 金の量子コンタクトの電子顕微鏡写真。黒い線は原子鎖。STMを使って、電極を引き離すと、接点に作られた金原子鎖が一本づつ減って、接点が次第に細くなっていく。電極に電流を流して同時計測したコンダクタンスは階段状に減少し、階段の高さは $2e^2/h$ の整数倍になっていた。

決まった数のコンダクタンス・チャンネルしか持たないことによる。

金のフェルミ波長は、概ね0.5nmなので、原子の太さをもつ量子コンタクトが作れたときに、この量子化は起こると期待される。我々は数原子以下の太さのコンタクトを作り、コンダクタンスを同時に計測する実験に挑戦した。実験のために電界放射型電子銃をもつ超高真空電子顕微鏡に走査型トンネル顕微鏡 (STM) を組み込んだ装置を開発した。結果は、図1のように、金コンタクトに原子の鎖が作られ、コンダクタンスの量子化が起きていることが分かった。

これから、この研究を**磁性コンタクト**に展開し、スピン量子伝導や、量子化された磁気抵抗効果の性質を明らかにしようとしている。

こうした研究方向で、従来型の半導体デバイスとは違う、**新型の量子デバイス**へつなげて行きたい。

ナノワイヤのバリスティック伝導

図1の観察結果を観ると、量子コンタクトの接点には均一な太さの金ナノワイヤが自然と形成されている。ナノワイヤのような一次元電子系で期待される**朝永-Luttinger 液体**の振る舞いを研究するため、10nm~100nmほどの長いナノワイヤを作ることを現在進めている。現在まで、作られているのは20nm程までであるが、ナノスケールになって始めて現れる不思議な現象が現れた。金のナノワイヤが、まるでカーボンナノチューブのように**カイラル・チューブ**となっていること、しかも**マジック構造**を持つことが分かってきた(図2)。また、原子鎖も作れている(図3)。

現在、ナノワイヤの構造、伝導特性、光学特性などを調べて、ナノスケール物質という、数100個~数千個のアンサンプルの魅力を明らかにしようという計画を進めている。

そのため、**ナノプローブをもつ超高輝度超高真空 TEM**の製作や、原子間力顕微鏡 (AFM)、走査型トンネル顕微鏡 (STM)、光ファイバーによる光子検出などの実験手段を独自のアイデアと共同研究によって推進させている。

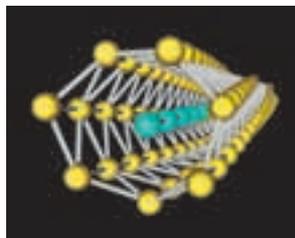


図2 金ナノワイヤのマジック構造。黄色、青色の玉で原子を表す。外側のチューブに7本の原子列が螺旋を描き、チューブの中心に1本の原子鎖が通っている。

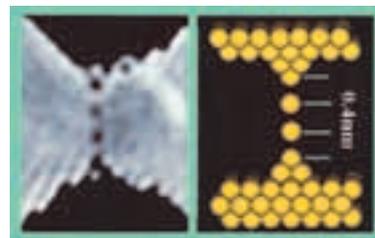


図3 宙に浮く原子鎖の電子顕微鏡像。金原子が4個、直線に並んで原子鎖を形成している。黒い4つの点が金原子。鎖の周囲の空間は真空である。右側の図は原子鎖のモデル。

◆山本研究室

電子プローブにより金属・半導体ナノ構造の新物性を探索する

<http://www.materia.titech.ac.jp/yamamoto.html>



山本 直紀 准教授

透過型電子顕微鏡 (TEM) と走査型トンネル顕微鏡 (STM) の発展により現在では固体構造および表面構造の原子スケールでの直接観察が可能となっている。本研究室では、TEM や STM がもつ小さなプローブ径の電子ビームを利用し、入射位置から放射される光を測定することで局所的な物性を調べ、ナノ構造のもつ固有の新物性を探索している。人工的に作られた半導体の量子構造や、金属、半導体の表面に形成される表面ナノ構造が示す光学的性質を調べることが現在の研究テーマである。これらの構造には量子サイズ効果による電子状態変化や光物性変化など、ナノスケールにすることで生じる電子系の新物性が現れる。最近、ナノ構造を超高真空中で種々の方法により作製し、測定する装置の製作を行っている。また、フォトニック結晶中の光やプラズモニック結晶の表面プラズモンの性質を、電子線励起発光顕微法を用いて調べる研究を行っている。

半導体量子構造の光物性の研究

半導体のサイズが小さくなると電子準位がとびとびになる量子効果が顕著になる。そのため、半導体が量子井戸、量子細線、量子ドットといった量子構造を持つと発光のエネルギーや偏光特性がサイズや形状で変わり、電気的および光学的性質に特有の性質が現れる。ナノ構造が密集していると巨視的な測定法では新規な物性は平均化され隠されてしまう。本研究室では、局所からの発光を検出する手法として透過型電子顕微鏡を使ったカソードルミネッセンス (CL) 法を用いて、高密度に分布したサイズの異なる量子構造を個別に調べる研究を行っている。図1に、(a) InP 量子細線 (ナノワイヤ) 構造の SEM 像と (b) GaAs 結晶中の InAs 量子ドットの TEM 像を示す。ナノワイヤ1本1本の発光スペクトルを測定すると異なる波長にピークが現れ、発光がワイヤ方向に強く偏光していることが観測される。

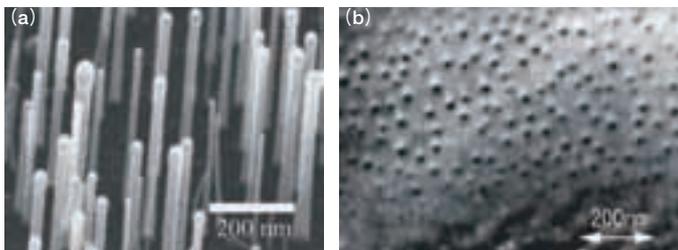


図1 (a) InP ナノワイヤの SEM 像と (b) InAs 量子ドットの TEM 像

電子線励起発光顕微法によるプラズモニック結晶の研究

電子が物質に入射すると可視光の波長領域ではチェレンコフ放射や遷移放射といった光が放出される。これらは入射電子と物質中の電子系との相互作用によって生じる放射現象で、その放射スペクトルは物質の誘電率に依存する。特に金属では表面のプラズマ振動 (表面プラズモン) による放射が起こり、 $0.1\mu\text{m}$ オーダーの大きさの金属微粒子からはプラズマ振動の多重極モードの放射が観測される。様々なナノ構造を作製し表面に励起されるプラズモンが起こす

放射の性質について調べている。図2は、ポリスチレン球をベースに作製した銀の微粒子の2次元配列構造である。発光スペクトルには多数のピークが現れ、ピーク強度は電子ビーム照射位置で激しく変化する。その様子はピーク波長で測定した光子マップ (図2下図) に現れており、このパターンは表面プラズモンの定在波モードの空間分布を表している。この測定からプラズモニック結晶における表面プラズモンのバンド構造を推定できる。

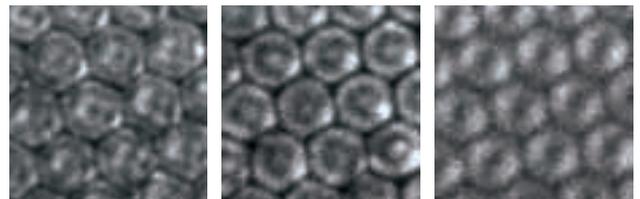
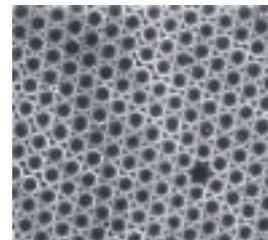


図2 銀微粒子配列 (粒径500nm) とピーク波長の光子マップ

走査型トンネル顕微鏡 (STM) による表面光物性の研究

表面には固体内部と違った表面特有の構造が現れる。それに伴い表面のさまざまな物性も固体と違ったものになると考えられる。表面構造を原子レベルで調べる装置に走査型トンネル顕微鏡 (STM) があるが、最近この装置に光を検出する装置を組み合わせることで試料からの発光を調べることができるようになった。トンネル電流が流れる微小領域からの発光を測定し、表面モルフォロジーに加えて物性に関する情報を同時に得ることが出来る。発光スペクトルや発光の空間分布から表面特有の物性や、金属・半導体表面で起こる特有な発光現象を研究している。

図3は、超高真空 STM 内で測定した Si(111) 7×7 表面構造の光子マップで、アドアトムの位置が明るいコントラストを生じている。このような表面にナノ構造が形成されたときの光学的性質の変化を STM 発光から直接調べようと試みている。

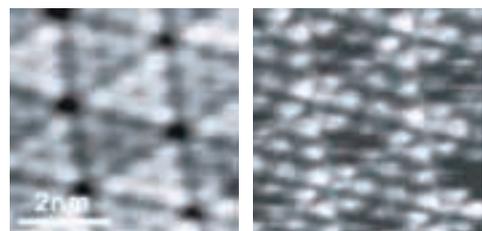


図3 Si(111) 7×7 表面の STM 像と光子マップ ($V_s = -3\text{V}$, $I_t = 1.5\text{nA}$)

◆内海研究室

物性物理を通して、科学の意味・人間社会との関わりを学ぶ



内海 研一 教授

材料物理を学ぶ若き学生の皆さんに学んで欲しい事を以下に述べます。

いわゆる産業革命以来、科学が技術と結びつき工業製品という形で人間社会と深くかかわりを持ち始めました。人類はその科学技術を駆使することで様々な欲望を実現できる事に気が付き、その結果として必要以上に自信を深め傲慢になり、三十数億年と言われる命の流れの中に人間をどう位置づけるかという点で大いなる勘違いを犯しているかもしれません。

人間の個々の能力は、太古の昔から変わっているとは思えません。一方で科学技術は、その成果が記録として残され、後の世の人間が記録として残された成果の上に新たな成果を積み上げる、という過程を経ることで成長し続けています。このようにして人類は巨大な成果を手に入れ、恐ろしいことにこの巨大な成果を欲望のままに扱おうという人間もいます。今我々が手にしている科学技術は、現在生きている人間だけの所有物ではないのですから、我々の判断だけで使用する事は許されません。皆さんは良識を以って科学技術をコントロールして欲しいと思うのです。皆さんには、科学技術に対する人間としての謙虚な気持ちを忘れずに科学技術の正の成果／負の成果と限界を率直に認識してほしい、そういう真摯な態度を学んでいただきたいと思うのです。

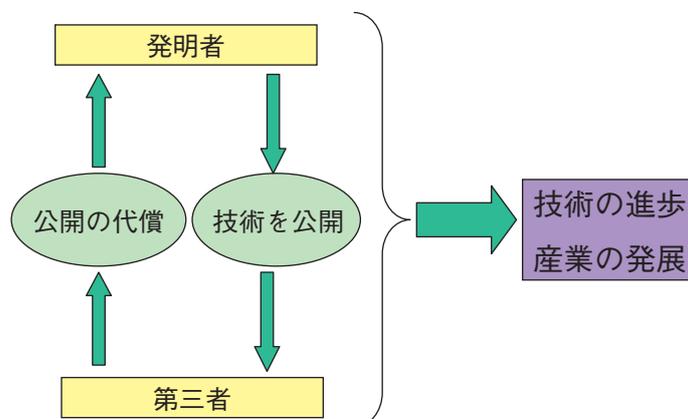
科学技術がもたらしたネガティブな問題のひとつに、ここ何年か環境問題が様々な分野で言われています。この環境問題を無視して工業も技術も科学も存在し得ません。人類を含めた生命システム自体の存在が危ぶまれているのですから。環境を維持するために様々な仕組みが開発されていますがトータルで考えると実は大量のエネルギーを消費していた、というような笑えない話もまだまだあるよ

うです。このような現状で期待されているのが新材料です。生命環境を維持する事に貢献する新しい材料の開発に、若い研究開発者の貢献を期待します。一筋でも良いから生命システムの将来に光明をもたらす材料の研究開発に携わっていただきたい。例えば電気エネルギーを使わずに便利な機能を実現する材料の開発を目指して欲しい。そのような研究開発において理論的な指針を持つために、物性理論、結晶理論、相変態理論など材料物理の基礎を学んでいただきたい。あわせて材料物理を学ぶ意義を掴んでいただきたいのです。

更に皆さんには、材料研究のしっばなしではなく、それを具体的に生命社会に適用する技術の開発をも視野に入れることが期待されています。例えば、かつて半導体という材料がトランジスタという形態で機能素子として生まれ変わり、その後の成長はそのまま情報産業の成長となりました。

このように技術の開発まで視野に入れる場合、材料物理だけでなく工学的な知識、経済学の知識など幅広い知識が要求されますが、どうしても知っておかなくてはならないのが、知的財産権の保護、特に特許権についての知識です。特許制度、特許法の本質は、発明と呼ばれる創造活動の成果を保護して更に新たな技術の開発を促すというものです。科学技術は過去の人類および現在の人類さらには未来に生まれてくる人類の共有の財産ですから、特許制度を個人的な蓄財に利用する事は厳に慎むべきです。特許制度を活用して皆さんの創造活動の成果を正しく生命社会に活かす事を学んで欲しいのです。

皆さんが材料物理の研究開発を通して生命社会に貢献していく事を、後押しし祈る事が、私の役割と信じています。



【特許法の目指すところ】

◆吉永研究室



吉永 直樹 准教授

鉄のすばらしい性質を極限まで引き出す-理想の組織を求めて-

<http://www.materia.titech.ac.jp/yoshinaga.html>

鉄鋼材料は、古くから人間の生活と共に在る、縁の下の力持ち的な基盤材料なので、鉄鋼材料がどのように進化しているかを実感できる機会はあまり多くないように思われます。「鉄の研究やっています!」と言われたら、「鉄は鉄でしょう?」と返したくなるかも知れません。しかし、自動車一つをとってみても、そこに使われている鉄鋼材料は、ここ数年で著しい変貌を遂げています。

自動車分野におけるもっとも大きな課題として、燃費と衝突安全特性の向上が挙げられます。燃費を支配する因子としては、エンジン性能、タイヤと道路との摩擦などがありますが、車体重量の影響が約4割であると言われており、車体軽量化の意義は非常に大きいと言えます。一方、衝突安全性は、軽量化と共に低下するので、これを向上させる方策が必要となります。車体用材料の多くを占める鉄鋼材料においては、加工しやすい高強度鋼板(以下、ハイテンという)を研究開発し、自動車に適用することが重要となります。数年前までは、車体の骨格用部材には、590MPa(最大引張強度)がわずかに使われる程度であったのに対して、最近では、980MPa以上の強度を有するハイテンが適用されつつあります。一般にハイテン化すると加工性が低下します。車体のどの場所に用いるのかを考慮しつつ、ハイテンの加工性能を適切に高めることが大切です。

では目的とする強度と加工性を得るための「理想の組織」とは何でしょうか?多くの研究者がさまざまな取り組みを行い、多種多様な鉄鋼材料を開発してきましたが、「理想」というゴールには道半ばなのではないでしょうか?強度一つにしても、未だ理想強度の1/10あたりをうろろうしているに過ぎません。極論ですが、Feをはじめとする数種類の原子の一つ一つを自由に積み重ねて好きなように鉄鋼材料を作ってみろ、と言われても、途方に暮れてしまいます。

鉄の魅力は何と言っても化学成分と加工熱処理との組み合わせによって、魔法のように変化する組織(結晶方位を含む)にあります。自動車に用いる冷間圧延鋼板の製造プロセスを図1に示します。合金設計と併せて、熱間圧延での加工・再結晶、冷却時の変態・析出、冷間圧延加工、さらに焼鈍プロセスでの再結晶、逆変態、変態などを駆使すれば可能性は無限です。一例として、鉄鋼材料の変態組織である、フェライトとベイナイトとの混合組織、マルテンサイト単一組織を示します(図2)。また、図3は、同一の化学成分を有する鋼の結晶方位変化を示しています。熱処理条件を変えただけで、全く違う結晶方位が得られた例です。このような組織変化は、機械的性質を初めとする材料の特性を支配するものです。先人が築いた叡智の上にさらに基盤的な知見を積み上げ、科学的に解釈し、ときには大胆な発想を組み合わせ、理想の組織に向かって一歩ずつ進んで行きたいと考えています。

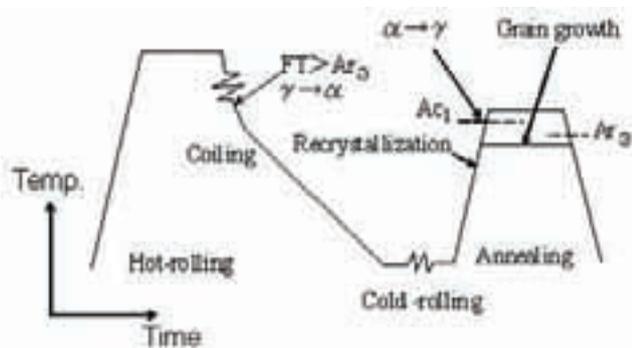


図1 自動車用冷延鋼板の製造工程(模式図)

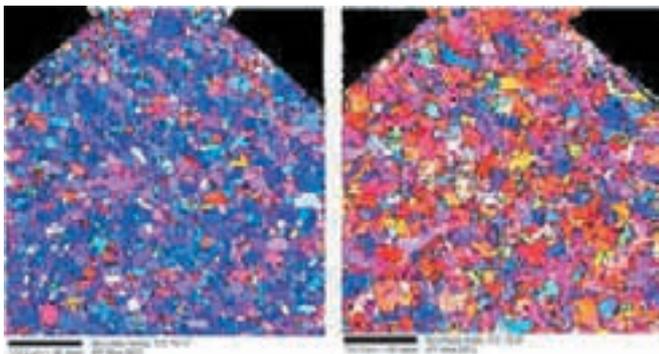


図3 極低炭素鋼の結晶方位変化 左:800°C 右:900°C
青は板面方位//<111>を、赤は<001>を表す
(黒い部分はピッカース圧痕)

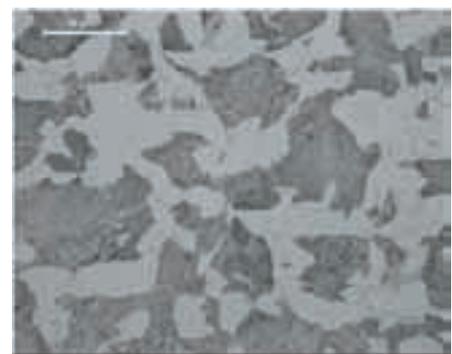


図2 鋼の変態組織の例
上:フェライト(白い部分)+ベイナイト
下:マルテンサイト

◆ 日比野研究室

半導体表面にナノ構造を自在につくり、新たな機能を生み出す

<http://www.materia.titech.ac.jp/hibino.html>



日比野浩樹 教授

1. はじめに

「半導体デバイスの集積密度は18~24ヶ月で倍増する」というムーアの法則は、これまでシリコンデバイスの発展を的確に予測してきました。現在市販されている最先端デバイスは、すでにゲート長が数十ナノメートルと真にナノテクノロジーの領域に達しています。しかしながら、この発展にも物理的な限界が近づきつつあり、ポストシリコン材料・デバイスの研究が活発化しています。

そこで、当研究室では、ポストシリコン材料・デバイスの創生に寄与することを目指し、ボトムアップ型の自己形成法を用いナノ構造を精密に制御して作製する技術の開拓と、シリコンに代わる新たなエレクトロニクス材料の探索に取り組んでいます。

2. ナノ構造自己形成の精密制御を目指して

自己形成は、物理的、化学的作用によって、構造物が自発的に形成されることを言います。潜在的には、原子レベルでの微細化とウェハスケールでの大規模化を同時に達成できる技術です。加工によるダメージもないため高品質で、半導体ナノワイヤやカーボンナノチューブ等の新規なナノ構造を作製できます。10nm レベル以下の構造を作製することも容易で、量子力学的効果を積極的に利用したデバイス作製にも適しています。このように、自己形成法は様々な側面でも有望な技術ですが、トップダウン型の微細加工法に比較して位置やサイズの制御性に乏しいのが現状です。

そこで、当研究室では、ナノ構造の自己形成過程をその場観察した結果をもとにそのメカニズムを解明し、自己形成の精密制御に繋げることを目指しています。この研究において、表面構造の動的変化の観察に適した低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM) は、大いにその威力を発揮します。

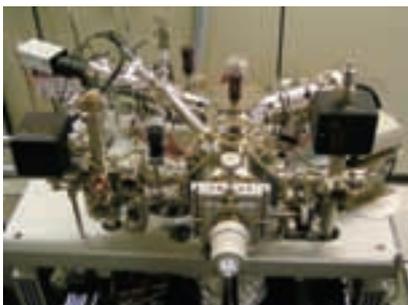


図1 表面ナノ構造の自己形成過程をリアルタイム観察するための LEEM 装置

これまで既に、表面の原子レベルの段差であるステップを制御した半導体基板をテンプレートとして、ナノ粒子をステップに自己組織的に配列することに成功しています。さらに、これらの自己配列ナノ粒子を触媒としてナノワイヤやカーボンナノチューブを成長させることにより、三次元的なナノ構造をボトムアップに集積することを試みています。

3. 単一層グラファイトの大面積成長を目指して

新材料探索においては、単一層のグラファイトであるグラフェンに注目しています。理想的な二次元伝導体で、その中の電子が相対

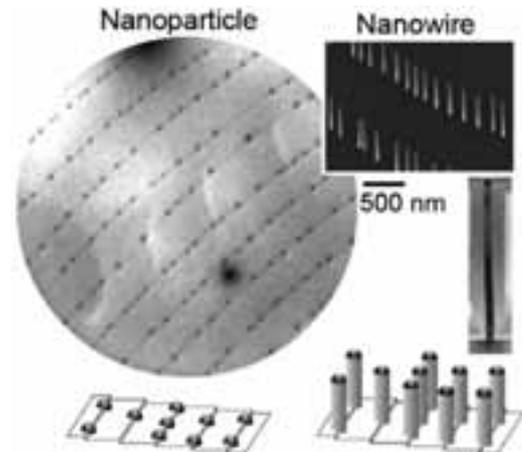


図2 シリコン表面の原子ステップに配列した金ナノ粒子 (LEEM 像と模式図) と自己配列金ナノ粒子を触媒として成長した直立ガリウムリン・ナノワイヤ (電子顕微鏡像と模式図)。

論的量子論に従うことから、次世代エレクトロニクス材料として関心を集めている物質です。当研究室では、シリコンカーバイト基板を熱処理することにより、数層グラフェンを層数を制御して大面積に成長する方法の確立と、層数に依存した電子物性の解明に取り組んでいます。既に、LEEM により、電子線の反射率のエネルギー依存性に現れる周期的な変化から、グラフェン層数をミクロスコピックに決定できることを明らかにしています。

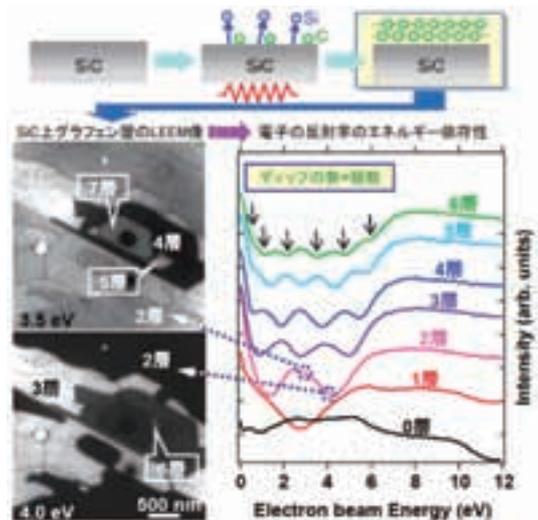


図3 シリコンカーバイト基板上に数層グラフェンを成長する方法の模式図と、LEEM を用いたグラフェン層数同定法。

4. おわりに

当研究室のテーマでは、材料から理論、デバイス特性評価といった、異なる技術の連携が不可欠です。そこで、様々な研究者との共同研究を積極的に推進しています。その相乗効果が、新たなブレークスルーの原動力となることを期待しています。

◆五十嵐研究室

半導体デバイス研究開発の最前線

<http://www.materia.titech.ac.jp/ikarashi.html>



五十嵐信行 准教授

1. はじめに

エレクトロニクスは、地球規模の社会・経済システムを支える基盤技術として、また、私たちの快適な暮らしを支える身近な技術として、欠くことのできない技術です。しかも、エレクトロニクスに対するニーズは、ますます高度化・多様化しており、そのハードウェアの基礎である半導体デバイスの研究・開発は、ますます加速しています。

一方で、半導体デバイス開発は大きな転換期にあります。従来の半導体デバイス開発、特にSiデバイスの開発では、デバイスの微細化によって、高機能化を実現してきました。しかし、今日では、微細化による高機能化が不可能なほどデバイスが小さくなったため、微細化によらない、新たな高機能化技術の研究・開発が競って行われています（ポストスケーリング技術と呼ばれています）。また、近年では、先端デバイスの加工寸法は、ナノメートルの領域に入り、半導体デバイスの研究開発には、ナノスケールでの物理・化学現象の理解と制御とが必要となっています。

研究について

私たちは、最先端半導体デバイスの開発における様々な課題を解決する事を目的として、ナノ・原子スケールの空間分解能での物性解析を行うとともに、計測や解析のための技術の研究開発を行っています。実験手法としては、電子線やx線を使い、局所領域の原子配列の解析や電子構造の解析などを行っています。また、第一原理計算を使って、理論・計算の観点からの物性予測や実験結果解析も行っています。

以下に、私たちの研究開発の例を紹介しします。これらの計測・解析技術は、先端デバイス開発を支える技術として活用されています。

ナノスケール構造物性研究

ポストスケーリング技術の代表的な例が、金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）のゲート絶縁膜への、高誘電率（high-k）材料の応用です。この絶縁膜材料として、従来は、SiO₂が用いられてきましたが、SiO₂の薄膜化による性能向上がほぼ限界に達したため、新たな絶縁膜材料（HfO₂などのhigh-k材料）を用い

たデバイス特性の向上が図られています。

この研究において、私たちは、極薄膜中での金属原子（Hf）の組成分布の定量計測を初めて実現し、この計測結果の解析から、基本的な物理常数であるHf原子のSiO₂中での拡散定数の決定を行いました。

図1に、HfO₂（1/5分子層）/SiO₂積層構造を有する絶縁膜を、断面方向から観察した例を示します。電子顕微鏡法の1つであるHAADF-STEM法による観察像です。High-kゲート絶縁膜では、特性向上のため、high-k膜とSi基板との間にSiO₂薄膜が挿入されます。一方で、HfO₂/SiO₂積層膜においては、HfがSiO₂中に拡散するため、拡散の程度によって絶縁膜の特性が変化します。従って、設計通りのデバイス特性を実現するためには、この拡散の制御が必要です。私たちは、SiO₂中でのHf原子分布の定量計測技術を確立し、熱処理による分布の変化を明らかにすることによって、Hf分布制御を可能としました。

結晶の内部ポテンシャル分布の解析

MOSFETにおける電気信号の制御は、Si基板中に作り込まれたpn接合のポテンシャルを制御することによって行われます。従って、このポテンシャル分布がトランジスタの特性を決定します。ところが、従来、このポテンシャル分布を物理的に計測する手段が無く、間接的な測定から、その分布が推定されてきました。

しかし、最先端デバイスでは、ポテンシャル分布の高精度制御が必要であり、その直接的な観察手法が必要とされています。私たちは、電子線ホログラフィー技術を応用し、最先端デバイスでの内部ポテンシャル分布の計測と可視化を初めて実現しました。

図2は、MOSFETのSi基板中のポテンシャル分布の観察例です。この観察では、デバイスを薄片化し、電子線を照射して、透過した電子の位相分布の計測から、ポテンシャル分布を決定します。観察像とシミュレーション結果とは良く一致しており、共に、試料内部のポテンシャル分布を精確に反映していると考えられます。これらのポテンシャル分布の実測から得られた知見をシミュレーション技術開発やデバイスの設計・プロセス開発に反映させることによって、開発加速が実現しています。

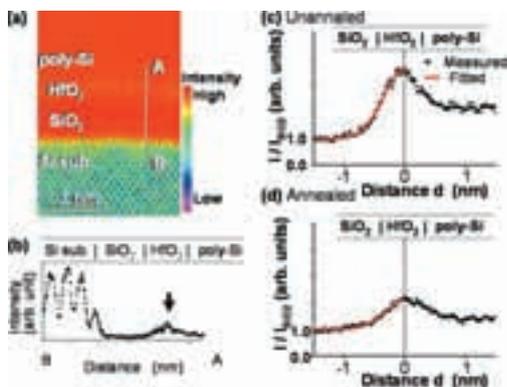


図1 (a) HfO₂/SiO₂積層膜の断面観察例。(b) 観察像の点線ABに沿った強度分布。この強度分布からHfの濃度分布を計算可能である。アニールによるHf濃度分布変化。(c) アニール前、(d) 後。

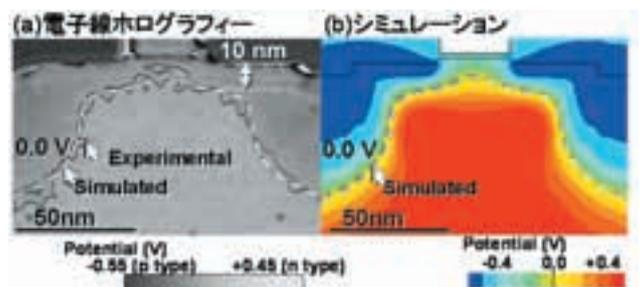


図2 最先端MOSFETのSi基板中の内部ポテンシャル分布。(a) 実測、(b) シミュレーション。(a) の実線と点線は、それぞれ実測とシミュレーションから得られた0.0Vの等電位線。実測とシミュレーション結果の比較のための目印として、シミュレーションによる等電位線を実測像に重ねて表示した。

◆ 蟹澤研究室

量子材料で新分野を開拓する

<http://www.materia.titech.ac.jp/kanisawa.html>



蟹澤 聖 准教授

今日の携帯電話や小型音楽プレーヤに至る電子機器の進歩の歴史は、材料技術の進歩の歴史と言っても過言ではありません。信号処理装置の心臓部を構成する演算回路は、高純度シリコン結晶の実用化が不可欠でしたし、信号の検出・伝達に欠かせない超高速トランジスタ・半導体レーザには、化合物半導体の実用化が必要でした。集積回路技術やデジタル技術など方式に関わる発明の具現化も、新しい材料の開発・応用と材料加工技術の発展による電子部品の高性能化が支えてきました。

ところで従来の材料技術は、物質固有の性質を巧みに利用することを基礎に発展してきました。微細加工技術が進歩し、ナノメートル (nm) スケールの構造体を作製できる今日では、各物質が固有に持つ性質に加え、大きさが小さいことで顕在化する量子効果による現象も無視できなくなっています。

近年の情報産業では、この量子効果が注目されています。情報の処理や伝送に対する大容量化や高速化などの基本性能向上に加え、携帯性や秘匿性など利便性や安全性に関わる要素技術も、これからの情報社会には欠かせません。これらの高度で多様な社会的要請に対応するためには、技術の進歩にはまだいくつものパラダイムシフトが必要であると考えられます。量子効果は、情報産業に技術革新をもたらすブレークスルーの一つとして期待されているのです。量子効果応用には、電子等の情報担体の数を制御する方法から、担体

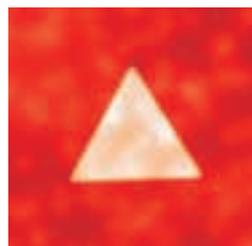
の取り得る状態を制御する方法への転換が必要です。

当研究室では、分子線エピタキシャル成長 (MBE) 装置と低温走査トンネル顕微鏡 (LT-STM) を接続したユニークな実験装置を用い、化合物半導体の清浄表面において量子現象の研究を行っています。MBE 法は、原子層の精度で結晶を制御して積層できる、すぐれた結晶成長法です。また、LT-STM は、低温化で熱の影響を抑えて量子効果を際立たせ、電子状態の実空間分布を原子分解能で観測できます。この LT-STM が、清浄表面を保つのに適した超高真空容器の中に封入されており、MBE 法で作製された試料表面を汚染無く評価できます。

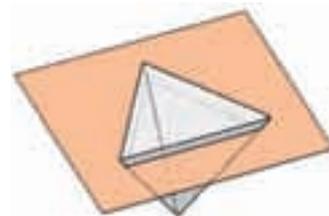
測定方法を工夫すると、表面下の結晶中の電子状態を検出できます。半導体量子構造中の低次元電子が、nm スケールの空間で見せる多様な振る舞いを調べることができます。これまでに、ナノ結晶や量子井戸など、様々な量子構造を作製し、構造内部の電子状態を直接的に観測することに成功しています。また、表面は固体内部への窓であると同時に、結晶の周期性がとぎれて新たな性質が現れる場所でもあり、表面特有の興味深い現象を捉えることもできます。量子効果応用の必要性が指摘される現在では、素子の動作制御に不可欠であった物質の表面・界面に関する知見の重要性が、これまで以上に増えています。特に、半導体量子現象のナノ領域の知見を獲得する研究が欠かせないと考えています。



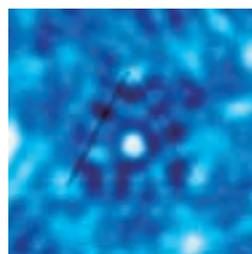
図1 電子状態を原子分解能で観測するための超高真空低温走査トンネル顕微鏡



ナノ結晶の STM トポ像



半導体量子構造の模式図



電子状態密度分布

図2 半導体ナノ結晶による量子構造 (一辺の長さ48.7nm) と観測されたゼロ次元電子状態 (5.3K, +0.08V)

平成19年度修士課程修了生論文題目

論文題目	指導教員
Ge/Si(001)(2×N)表面の表面電子定在波観察による電子状態の決定	平山・松本
Si(111)√3×√3-B表面上へのGeエピタキシャル成長過程のSTM観察	平山・松本
Si(111)表面上におけるAg超薄膜成長	平山・松本
超高真空レーザー顕微鏡を用いた低融点金属薄膜の熱挙動その場観察	松本・平山
SrTiO ₃ (001)単結晶表面上のペンタセン薄膜の成長と光化学	松本・平山
鉄ドーパ六方晶チタン酸バリウムにおける酸素欠損と磁性の相関	伊藤・谷山
リラクサー誘電体(1-x)Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -xPbTiO ₃ 単結晶のドメイン構造解析	伊藤・谷山
チタン酸バリウム単結晶表面における局所的電気伝導を用いたスイッチングデバイスの可能性探求	伊藤・谷山
強磁性ドット/強誘電体接合を用いた歪み誘起による磁区構造制御	谷山・伊藤
反強磁性-強磁性転移型遍歴電子磁性体Mn ₃ GaCの薄膜成長とその電気・磁気特性	谷山・伊藤
CoFe ₂ O ₄ -Co ₃ O ₄ 固溶体での遷移金属イオンの混合原子価状態の研究	佐々木・川路
高圧下熱散漫散乱法によるCdTeの弾性特性の解析	佐々木・川路
X線磁気円二色性によるLa _{1-x} Ca _x CoO ₃ 系でのCoイオンの電子状態の研究	佐々木・川路
遷移元素置換型六方晶Baフェライトでの席占有率と磁気構造	佐々木・川路
イオン液体[Rmim][Tf ₂ N](R=アルキル基)の相転移およびガラス転移の熱力学的研究	川路・阿竹
ペロブスカイト型希土類クロム酸化物RCrO ₃ の低温物性	川路・阿竹
12CaO・7Al ₂ O ₃ エレクトライドと有機半導体(ペンタセン, CuPc, C ₆₀)界面の電子構造	細野・神谷
低温F2エキシマレーザー照射によるシリカガラスの欠陥生成	細野・神谷
アモルファス酸化物半導体薄膜トランジスタの動作特性に与える金属電極と雰囲気熱処理の影響	細野・神谷
P型酸化物半導体CuGaO ₂ と遷移金属層状化合物AB ₂ Pn ₂ , ABPnF(A=Ba, Sr; B=Ni, Fe; Pn=P, As)の電気・磁気特性	細野・神谷
希土類ドーパC12A7誘導体の合成とその残光特性	細野・神谷
層状化合物LaNiOPn(Pn=P, As)の合成と超伝導	細野・神谷
Pd-Ni-P金属ガラス薄膜の無電解合金めっき法による作製及び特性評価	肥後・曾根
Ni電気めっき膜の集合組織形成に及ぼす基板の結晶構造の影響	肥後・曾根
アモルファス合金の変形中に生じるシェアバンドの直接観察	肥後・曾根
チタン酸リン酸カリウム(KTP)及び類似化合物の結晶構造解析と相転移	八島・佐々木
光触媒の結晶構造と電子密度の解析	八島・佐々木
電子線励起による金属微粒子からの発光	山本・佐々木
試験片断面形状の変化が銅の延性破壊挙動に及ぼす影響	尾中・加藤
巨大ひずみ加工を施した銅の微細組織と応力-ひずみ関係	尾中・加藤
Cu合金の二重円筒型双結晶および結晶粒包含型三重結晶における高温粒界破壊	尾中・加藤
Cu-Co複相合金の組織に及ぼす電子線照射効果: 超高压電子顕微鏡を用いたその場観察	加藤・尾中
ECAPにより作製した超微細粒Cuの繰り返し変形に伴う軟化	加藤・熊井
Half-Heusler型MNiSn(M=Ti, Zr, Hf)単相合金の固溶置換による熱伝導率の低減と電気出力因子の向上	木村・三島
E21型Co ₃ AlCとFe ₃ AlCにおけるC原子の規則化傾向が相安定性と機械的特性に及ぼす影響	木村・三島
6022アルミニウム合金の高速双ロールキャスト時における板内部の温度履歴と内部割れの関係	熊井・三島
電磁力衝撃圧着したAl/Cu重ね合せ接合界面の解析	熊井・三島
AC4CHアルミニウム合金の強度と引裂靱性に及ぼすマイクロ組織の効果	熊井・三島
Cu基導電性合金とSn基はんだの界面反応による組織形成挙動	梶原・加藤
Pd-Ag系合金とSnの固相反応拡散における速度論的特徴	梶原・三島
(Cu-Sn-Ti)/Ta系の反応拡散による化合物の成長形態	梶原・三島
Ruを基盤とする拡散障壁層の相互拡散係数による機能評価と耐熱材料への適用	三島・木村
メチルシロキサンの特性に及ぼす金属アルコキシドの影響	安田・赤津
ナノ粒径セラミックスの超塑性拡散接合への応用	若井・赤津
窒化ケイ素セラミックスの高温圧縮変形に及ぼす粒界ガラス相組成の影響	若井・赤津
タングステンカーバイド(WC)の高温変形挙動	若井・赤津
焼結中の粒成長における粒界と表面の相互作用	若井・赤津
対向ターゲット式スパッタ法によるNiO/FeCoB積層膜及びNiO/NiZnフェライト積層膜の作製	吉村・松下
超臨界アンモニア中における金属前駆体からのLaAON ₂ (A=Ta, Nb)の合成と物性評価	吉村・松下
インクジェット析出法によるチタン酸バリウムパターンの直接作製	吉村・松下
輝度温度計によるAl ₂ O ₃ -Y ₂ O ₃ 系状態図の再決定	吉村・松下

平成20年度修士課程修了生論文題目

論文題目	指導教員
Cu-Ag複相合金単結晶に析出したAg粒子の時効による形状変化	尾 中・加 藤
純銅単結晶のARB加工による微細組織の形成過程	尾 中・加 藤
縦型高速双ロールキャスト材の板厚ならびに組織変化と凝固様式の関係	熊 井・三 島
高炭素鋼鉄道車輪におけるレール転動接触応力とブレーキ摩擦熱による表面近傍の組織変化	木 村・熊 井
ワット浴を用いて作製したNi電気めっき膜の集合組織および微細組織	曾 根・肥 後
Ru-Ir系拡散障壁層の相互拡散係数による性能評価と耐熱合金への適応性	木 村・三 島
Half-Heusler型MNiSn (M = Ti, Zr, Hf) のNi置換元素が相安定性と熱電特性に及ぼす影響	木 村・三 島
Half-Heusler型TiNiSnの反応焼結を応用した作製法と熱電特性	木 村・三 島
Ni基合金とSnの固相反応による化合物の生成挙動	梶 原・三 島
ブロンズ法における化合物の成長挙動に対する実験的検討	梶 原・木 村
6022アルミニウム合金縦型高速双ロールキャスト材の内部割れに及ぼすバネ荷重の影響	熊 井・三 島
電磁力衝撃圧着したアルミニウム板多層接合材の接合界面形態	熊 井・三 島
ECAP法により作製した超微細粒 Cu の中温における繰り返し変形挙動	加 藤・尾 中
Cu-SiO ₂ 合金の結晶粒内包型双結晶および三重結晶における粒界クラックの発生	加 藤・尾 中
Sn-Pd-Ni系の反応拡散における速度論的特徴	梶 原・加 藤
純Al単結晶の低温域での繰り返し変形挙動	加 藤・尾 中
Cu-Co複相合金におけるCo粒子のオストワルド成長	加 藤・尾 中
マイクロサイズ試験片を用いた鉄合金ラスマルテンサイトの変形量に伴う組織変化の直接観察	肥 後・加 藤
銅単結晶の引張変形における塑性不安定と結晶方位の関係	尾 中・加 藤
加工度の異なる銅合金を用いた繰り返し応力緩和試験による熱活性化過程の検討	尾 中・加 藤
TbFe _x Mn _{1-x} O ₃ の磁気特性と低温熱容量	川 路・阿 竹
希釈冷凍機を用いた金属酸化物クラスターおよび酸素欠損チタン酸バリウムの熱力学的研究	川 路・阿 竹
Fe ₃ O ₄ 単結晶薄膜から半導体量子井戸へのスピンの注入と円偏光発光解析	谷 山・伊 藤
先端の鋭い圧子を用いた膜/基板2層体のインデンテーション挙動に対する数値解析	赤 津・若 井
連铸用耐火物における亀裂進展の評価と解析	赤 津・若 井
プラズマ電解酸化によるチタン表面の生体活性化	赤 津・若 井
置換型六方晶Baフェライトの電子構造と席占有率の相関	佐々木・川 路
中間スピン系のLaCoO ₃ でのCo 3d-4p軌道の電子密度分布	佐々木・川 路
Dy置換BiFeO ₃ の合成と物性評価	伊 藤・谷 山
磁性イオンを含むリン酸塩における誘電性と磁性の相関	伊 藤・谷 山
タングステン添加による炭化ケイ素複合材料の機械的性質	若 井・赤 津
WC-Cu超硬合金の機械的性質	若 井・赤 津
p型縮退半導体Cu _{1.7} Seによる有機半導体への低正孔注入障壁の形成	細 野・神 谷
Ag超薄膜表面における電子定在波観察による電子状態評価	平 山・谷 山
Ag/Si(111)表面上に吸着した水素原子の脱離特性	平 山・谷 山
層状4元系化合物 (ScGaO ₃ (ZnO) _m , ScAlO ₃ (MgO), SrFe _{2-x} Co _x As ₂) のエピタキシャル薄膜成長	神 谷・細 野
Bi-Ni系酸化物の高温高压合成と単結晶構造解析	佐々木・川 路
球面収差補正走査型透過電子顕微鏡によるシリコン結晶にドーピングされたヒ素の可視化	高 柳・山 本

在学生の活躍状況

材料物理科学専攻の学生は世界的な研究成果をあげて活躍しています。以下に一部を紹介します。詳しくは別冊の専攻パンフレットをご覧ください。

(1) 学生の受賞

2008年度：日本鑄造工学会 平成20年度奨励賞（2件）、E-MRS Best Poster Award、触媒工業技術協会技術賞、手島記念研究賞（博士論文賞）、他

2007年度：日本結晶学会2007年年会ポスター賞、第22回応用物理学会講演奨励賞、独創性を開く先端技術大賞、日本鑄造工学会第150回全国講演大会学生優秀講演賞、他

(2) 学生による国際会議での発表（2008年度の一部のみ）

2008 MRS Fall Meeting, Boston, USA (2件); TMS 2008 Annual Meeting, New Orleans, USA; European Mater. Res. Soc. Symposium Fall Meeting, Warsaw, Poland (2件); Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science, Honolulu, USA; ISHA 2008, Nottingham, UK; Materials Science and Technology 2008, Pittsburgh, USA; 他14件

入試情報

正確な情報と詳細は5月に発行される募集要項と入試課HPをご覧ください。

入試課HP <http://www.gakumu.titech.ac.jp/nyusi>

大学院修士課程入学試験の特徴

『材料科学』は本質的に学際的な新しい研究領域です。そのため本専攻の入学者選考は、以下のような特長があります。

- (1) 学部時代の専門によらず、あらゆる学部・学科の卒業生を歓迎しています。
- (2) 様々な分野の学生諸君が、それぞれの出身学部・学科に最も関連の深い専門科目で受験できるシステムを取り入れています。
- (3) 入学の門戸は全国の大学に広く解放されています。
- (4) 学部での成績優秀者は口述試験のみで合格することができます。

上記の方針の結果、例年、本専攻には物理、化学、金属工学、材料工学、無機材料工学、有機化学、応用物理、機械、電気・電子・情報など様々な学部・学科・高専・専攻科からの卒業生を大勢受け入れています。修士入学許可者の7割以上が他大学出身者によって占められています。



すずかけ台キャンパスマップ

大学院総合理工学研究科

- 大学院 1号館 G1棟
- 大学院 3号館 G3棟

精密工学研究所

- 像情報工学研究施設 R2棟

応用セラミックス研究所

- 構造デザイン研究センター R3棟

合同棟 1号館

- J1棟

合同棟 2号館

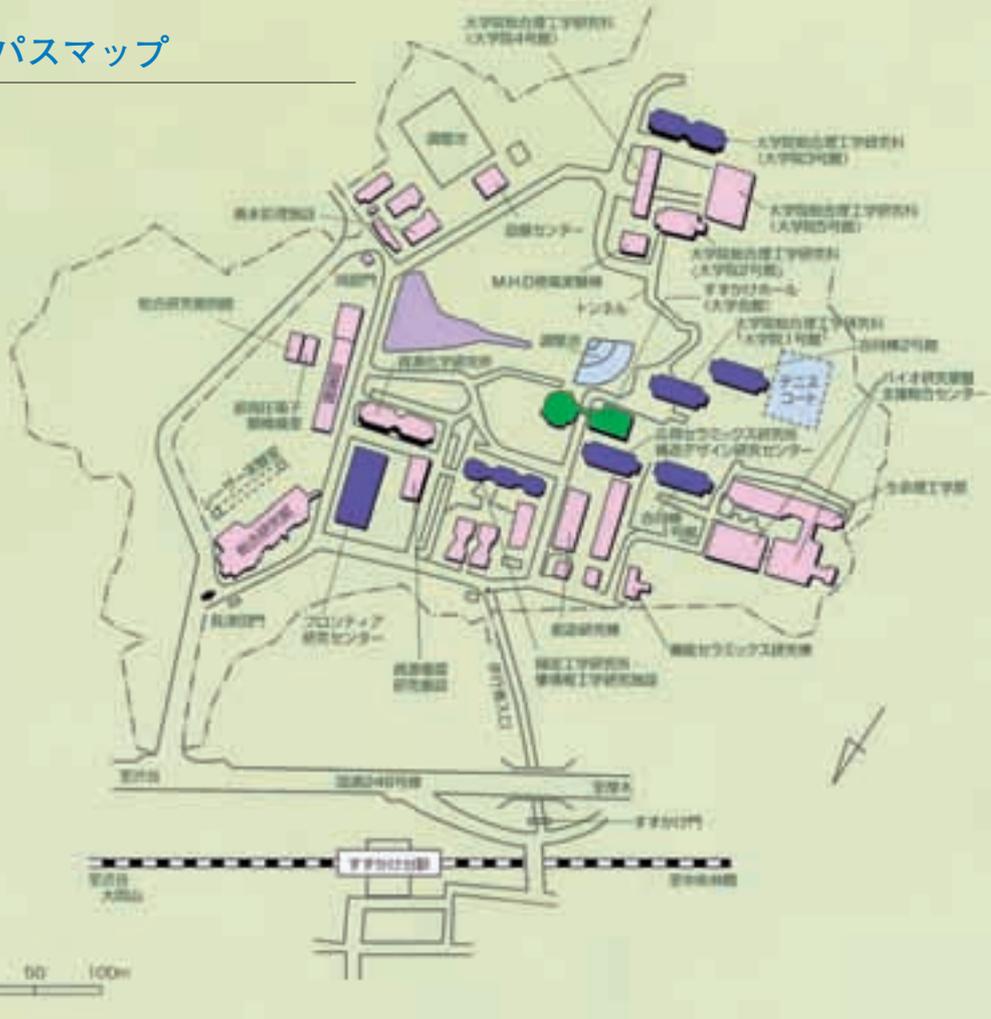
- J2棟

フロンティア研究センター

- S2棟

【交通】

- 東急田園都市線
- すずかけ台駅から徒歩5分



東京工業大学大学院総合理工学研究科
材料物理学専攻

〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259
TEL 045-924-(各内線番号)

入試情報

<http://www.gakumu.titech.ac.jp/nyusi>

