

北陸先端科学技術大学院大学 研究室レポート

JAISTAR

Japan Advanced Institute of Science and Technology, Announcement of Researchers

Materials
Science

材料科学研究科
片山 研究室

ナノ材料・量子構造における
光・熱誘起の新機能発現と制御を目指して

科学技術のフロンティアを拓く

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY
1990

北陸先端科学技術大学院大学

北陸先端科学技術大学院大学

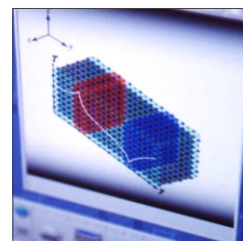
材料科学研究科 片山 研究室 ● ● ●

ナノ材料・量子構造における光・熱誘起の新機能発現と制御を目指して。

21世紀はナノ材料と光科学の時代。

光・熱による電子・構造制御をキーワードに

テラヘルツ光源の開発やナノ機能材料の創製を目指す。



School of
Materials Science

Katayama
Laboratory

原点はレーザーラマン スペクトロスコピー

集積回路の微細化、高密度化が進み、ここ数十年の間に著しく進歩した半導体技術。シリコンや砒化ガリウムの結晶性は集積回路の品質に大きく影響を及ぼす。その重要な評価技術の一つが、ラマン分光法であり、表面・界面や異物の分布などの分析により半導体製造を支える。

ラマン散乱とは光が媒体中で非弾性散乱され、入射光と波長の異なる光が放出される現象。その波長の違いや散乱光の強さを測定することにより、原子や分子、イオンの運動状態を明らかにすることができる。特別な前処理が不要で、その場で、しかも対象物を破壊することなく分析できることから、現在多くの工場で採用されている。もちろん半導体以外の分野でも盛んに利用されている。

片山信一教授は、1960-1970年代のレーザー光を用いたラマン分光のルネサンスといわれる時代から、この現象を利用したスペクトロスコピーに着目、半導体分野における応用の途を拓くとともに、特に赤外域における半導体の光物性分野を牽引してきた研究者である。



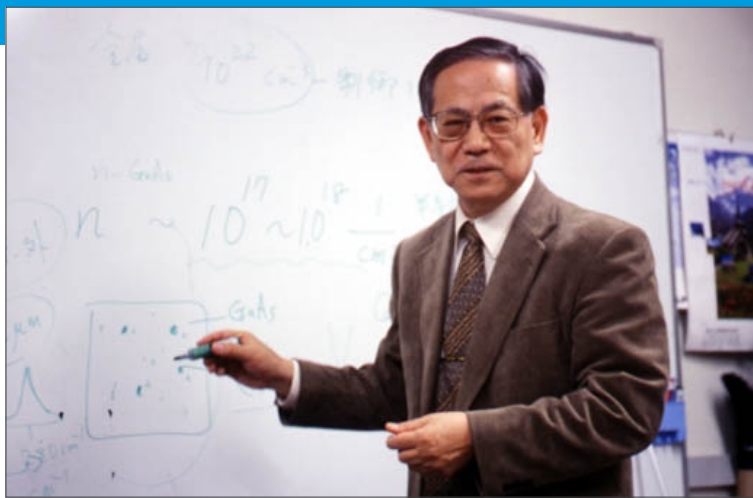
スペクトロスコピーは分光によって物質のエネルギー構造を調べる方法である。どのようなエネルギーの光が吸収されるか（吸収スペクトル）、発光するか（発光スペクトル）が基本プロセスであり、ラマン散乱はこの2つの一続きの組み合わせである。スペクトロスコピーを行うことで材料の原子種が何で、どのように集まっているかを同定できる。また素材の吸収・発光、ラマンスペクトルを解析すればその作製材料の品質や電子の状態を知ることができる。「光スペクトロスコピー技術はナノ材料を探るために必須の道具の一つになっている」と片山教授は語る。

科学技術のダイナミクス を体現するフィールド

科学と技術の関係について片山教授はこう語る。

「かつて、自然の法則を探る科学と生活の術である技術は切り離されて考えられ、互いに影響しあって発展してきました。しかし最近では“科学技術”とひとつの言葉で表されるように、科学と技術の融合の時代を迎えています。科学が技術に内包されることもあれば、その逆もあり、科学と技術は融合しながらダイナミックにその関係を変えています」。

片山教授が携わる半導体のナノ先端分野は、まさにこの潮流を先行するフィールドであり、教授自身も理論の確立と新材料・デバイス開発の両面を意識した研究を行っている。レーザーラマンスペクトロスコピーを原点に研究者としての道を歩み始めた片山教授。



現在力を注いでいるテーマが、テラヘルツテクノロジーの基礎研究、ラマンレーザー、そして分子動力学法を用いたナノ熱電材料の格子熱伝導シミュレーションである。中でも近年注目を集めている、テラヘルツ波発生技術や分光技術、イメージング技術に関する基礎研究に注目したい。

テラヘルツ帯は光と電波の境界領域にある周波数帯である。光や電波は技術面でも応用面でも大きく発展した。しかしテラヘルツ波発生とその応用については、片山教授が指摘するように、未開拓分野として取り残されており、いわゆる“テラヘルツテクノロジー・ギャップ”の問題が認識されている。その大きな原因として、これまでテラヘルツ帯の使いやすい光源の開発や検出技術の遅れがあったことがあげられる。

しかしテラヘルツ波に期待される経済効果は大きい。総務省は2005年3月「テラヘルツテクノロジー動向調査委員会」の最終報告書で、その経済波及効果が2015年には約2兆810億円に達するとの試算を発表した。テラヘルツ帯は、通信分野では光ファイバーと同様にハイビジョンテレビ映像などの大容量データの伝送が可能である。また最近期待されているのは、封筒に入った薬物の成分や爆発物を開封せずに検出する、あるいは瓦礫の下に埋まっている人を映像で検出するなど、セキュリティ分野での応用である。さらに環境計測やバイオマテリアル関連におけるニーズも非常に高い。

片山研究室ではフェムト秒レーザー照射の半導体表面から発生するテラヘルツ電磁波や量子井戸ラマンレーザーに注目、電磁波発生シミュレーションやラマンレーザー設計を行っている。その先にあるのはもちろん新しいテラヘルツ電磁波発生材料の探索やテラヘルツレーザーの光変調器の開発である。

理論研究に シミュレーション技術を ハイブリッド

理論系の研究スタイル、実験系の研究スタイルの両方を経験してきた片山教授、これにシミュレーション技術をハイブリッド。実験データに直結する理論を展開する当該分野の研究室は日本でも多くはないという。そこに独自の研究スタイルがあり、自分の担うべき役割を感じている。

自分が恩師ら先人から世界に先駆ける研究の秘訣を受け継いだように、次は若い研究者にそのスピリットと知識・技術を伝えていきたいと語る片山教授。その願い通り、片山研究室の出身者は今産業界・学界の第一線で活躍している。

「研究は、私にとって自己表現。新奇な現象や新技術を用いた発見に驚き、”なぜ”という問いかけから生まれる挑戦そのものです」



Research Interests

北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科

教授 片山 信一

Professor Shin-ichi Katayama

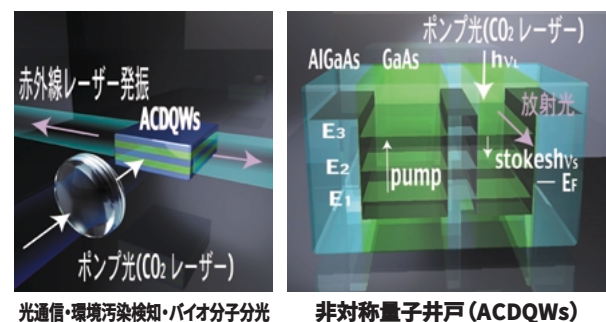
片山研究室 材料科学棟IV TEL:0761-51-1510 FAX:0761-51-1515
http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/kotai/katayama/index-j.html
E-mail s-kata@jaist.ac.jp

主な研究テーマ

1) ラマン分光から量子井戸ラマンレーザー設計へ

量子カスケードレーザーは、室温、赤外域での発振を実現し、実用化段階にある。本研究室では、CO₂レーザーパルス励起の誘導ラマン過程を利用するサブバンド間遷移ラマンレーザーに注目している。これまで半導体ヘテロ構造の量子遷移を伴う共鳴的電子ラマン散乱理論とサブバンド間遷移ラマンレーザー理論が進展した。今後、ナノフォニクスデバイスとの併用で量子遷移を利用する新規光デバイスシステム設計のシーズとなる課題に取り組む。

サブバンド間遷移赤外線ラマンレーザー



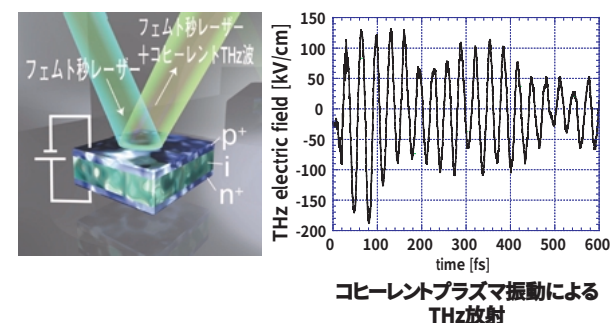
光通信・環境汚染検知・バイオ分子分光

非対称量子井戸 (ACDQWs)

2) 半導体のフェムト秒域ダイナミクス、THz域光物性の理論解析

フェムト秒光パルス照射の半導体表面から発生するTHz電磁波は、バイオマテリアル分子の時間域赤外分光やイメージングの光源として注目されている。本研究室では、フェムト秒光パルス照射のGaAs p-i-nダイオードにおける超高速キャリアやコヒーレントフォノンからのTHz電磁波発生シミュレーションを行っている。今後、種々の新材料からのTHz電磁波発生仕組みと時間域分光スペクトル解析から、より高効率電磁波発生材料を見出すとともに、THz波伝播特性を向上させる導波路構造構築を目指している。

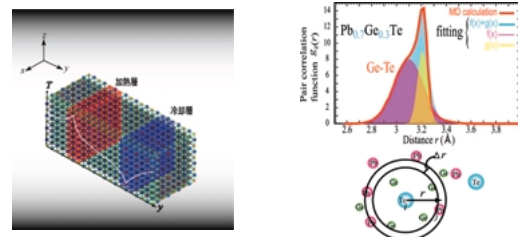
GaAs pin ダイオードからのTHz電磁放射のシミュレーション



3) 構造の不安定性と新機能発現

分子動力学法による局所構造緩和と格子熱伝導シミュレーションを試みている。ナノ構造制御による高性能熱電デバイス材料の創製の鍵は、原子レベルからの構造変調による格子熱伝導のコントロールが有効であることが判明してきた。また、ペロブスカイト酸化物の構造不安定化とその機構を利用した新規熱電変換材料や電磁波発生デバイスとしての可能性を探っている。

分子動力学法シミュレーションによるナノ熱電材料の格子熱伝導と局所構造緩和



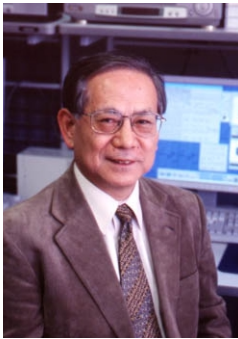
ナノ超格子構造・温度プロファイル

熱電材料の局所構造緩和を示す2体分布関数

使用装置 Cray XT3, Fujitsu VPP5000, SUN StarCat, SUN Blade 1500, ラマン散乱分光装置

キーワード 半導体ヘテロ構造、サブバンド間遷移、ラマン散乱、ラマンレーザー、THz電磁波、コヒーレント振動、ナノ熱電材料、分子動力学法、格子熱伝導率

Faculty Profile



北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科

教授 片山 信一

Professor Shin-ichi Katayama

<学位>

新潟大学教育学士 (1966)、新潟大学理学修士 (1968)、大阪大学理学博士 (1975)

<職歴>

新潟大学理学部助手 (1968)、大阪大学理学部助手 (1973)、同講師 (1982)、
新潟大学教養部助教授 (1982)、北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科
教授 (1993-)、北陸先端科学技術大学院大学保健管理センター所長 (1995-1997)、
北陸先端科学技術大学院大学学長補佐 (併任) (2000-2001.3)

片山研究室 材料科学棟IV TEL:0761-51-1510 FAX:0761-51-1515

<http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/kotai/katayama/index-j.html> E-mail s-kata@jaist.ac.jp

専門

物性理論、化合物半導体および半導体量子構造の光物性、熱輸送現象

主な研究課題

- ・半導体ラマンレーザの理論
- ・フェムト秒光パルスによるテラヘルツ電磁波発生と時間域分光への応用
- ・ナノ熱電材料の格子熱伝導シミュレーション

主な論文・講演発表

ユニポーラ量子井戸ラマンレーザ、サブバンド間遷移共鳴ラマン散乱

- ・ S. M. Maung and S. Katayama, " Theory of Intersubband Raman Laser in Modulation-doped Asymmetric Coupled Double Quantum Wells ", J. Phys. Soc. Jpn. 73, 2562-2570, (2004).
- ・ S. M. Maung and S. Katayama, " Gain of intersubband Raman lasing in modulation-doped asymmetric coupled double quantum wells ", Physica E21, 774-778 (2004).
- ・ S.M. Maung and S.Katayama, " Studies of a new Raman laser in modulation-doped asymmetric coupled double quantum wells ", Digest of 28th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, (JSAP Catalog, 031231, 2003) pp.281-282.
- ・ S. M. Maung, S. Katayama, M. Koyano, S. Yamada, " Ionic screening effects on resonant light scattering by intersubband excitations in n-type AlGaAs/GaAs heterojunctions ", Proc. of 28th Int. Sym. on Compound Semiconductors, ed. By Arakawa et al. (Inst. Phys. Conf. Ser. No 170, 2002) pp 443-448.
- ・ S. Katayama, M. Koyano, and S. Yamada, " Resonant Light Scattering as a Probe of Si δ -Layer in AlGaAs/GaAs Heterojunctions ", phys. stat.sol. (b) 215, pp359-364 (1999).
- ・ S.Katayama, M. Koyano, S. Yamada, " Resonant light scattering by coupled electron-LO phonon system in δ -doped $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ single-heterostructures ", Microelectronics engineering 47 (1999) 297-299.

量子井戸構造における準2次元電子系の基底状態と集団的励起状態

- ・ A. Inagaki and S. Katayama, " Binding Energy of the Electron-Hole Liquid in Type-II (GaAs) $_m$ /(AlAs) $_m$ Quantum Wells ", J.Phys. Soc. Jpn. 72, 1452-1457(2003).
- ・ A. Inagaki and S. Katayama, " Ground state energy of the electron-hole liquid in type-II quatum wells ", Science and Technology of Advanced Materials, 4 51-54 (2003).
- ・ A. Inagaki and S. Katayama, " Ground State energy of the electron-hole liquid in type-II (GaAs) $_m$ /(AlAs) $_m$ Quantum wells ", Solid State Commun. 125, 337-339 (2003).
- ・ T. Tagawa and S. Katayama, " A new profile of the modulated two-dimensional electron density in lateral surface superlattices ", J. Korean Physical Society, 39, 481 - 484 (2001).
- ・ T. Tagawa and S. Katayama, " Plasmons in laterally density modulated 2D electron gas in shallow etched single-heterostructures ", Proc.25th Int. Conf. on Physics of Semicond., ed. by N. Miura and T. Ando (Springer-Verlag, 2001) pp. 481 - 482.

フェムト秒パルス励起のキャリアダイナミクスとコヒーレント振動、フォトニック結晶

- ・ D. N. Thao, S. Katayama and K. Tomizawa, " Numerical Simulation of THz Radiation by Coherent LO Phonons in GaAs p-i-n Diodes under High Electric Fields ", J. Phys. Soc. Jpn. 73, No. 11 3177-3181 (2004).
- ・ D. N. Thao, S. Katayama, T. D. Khoa, and M. Iida, " Calculation of THz radiation due to coherent polar-phonon oscillations in p-i-n diode structure at high electric field ", Semicond. Sci. Technol., 19, S304 - S307, (2004).
- ・ M. Iida, M. Tani, K. Sakai, M. Watanabe, S. Katayama, H. Kondo, H. Kitahara, S. Kato, M. Wada Takeda, " Emission from planer defect modes excited with surface modes in three-dimensional photonic crystals ", Phys. Rev. B69, 245119 - 245125 , (2004).

- ・ S.Katayama, S.M.Maung, D.N. Thao, and N. Kawaguchi, Theory of intra-miniband plasmon in semiconductor superlattices, Digest of 28th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, (JSAP Catalog, 031231, 2003) pp.237-238.
- ・ M. Iida and S. Katayama, " High field effect on ultrafast pump-probe excitation of compound semiconductors ", Physica B314, 288-292 (2002).
- ・ M. Iida and S. Katayama, " Ultrafast dynamics of carrier - LO phonon system in high electric field in polar semiconductors ", Solid state Commun. 117, 631-634 (2001).
- ・ S. Katayama, M. Hase, M. Iida, S. Nakashima, " Dephasing of coherent LO phonon-plasmon coupled modes in polar semiconductors ", Proc.25th Int. Conf. on Physics of Semicond.,ed. by N. Miura and T. Ando (Springer-Verlag, 2001) pp.180 - 181.

構造の不安定性と熱物性

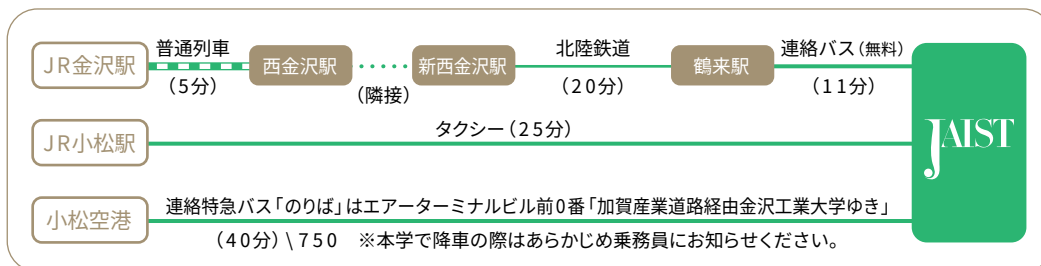
- ・ M.Kato, M. Koyano, S. Katayama, " Photo-induced enhancement of charge density wave current in the quasi-one-dimensional conductor TaS_3 ", Solid State Commun. 129 (2004) 545-549.
- ・ S.Maruyama, S. Katayama, T.Tagawa, and M. Iida, " Molecular Dynamics Simulation of Local Structure in $\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}$ ", Proc. 10th Int. Conf. on Narrow Gap Semicond. And related small Energy Phenomena, Physics, gap semiconductors and Applications, ed. by Miura et al. (IPAP Conf. Series 2. 2001) pp 58-60.
- ・ K. Nagao, M. Koyano, S. katayama, Y. Yamamura, T. Tsuji, " Raman scattering from intercalation compounds Fe_xNbS_2 under high pressure ", phys. stat. sol. (b) 223 (2001) 281-285.

講演発表 (国際会議、国内学会など)

- ・ D.N. Thao, S. Katayama, K. Tomizawa, Numerical Analysis of THz radiation by coherent LO phonon oscillations in GaAs p-i-n diodes under high electric fields, 31th Int. Symm. on Compound Semicond. (Seoul, Korea, Sept. 12-16, 2004).
- ・ S.M. Maung and S. Katayama: Theory of Raman lasing due to coupled intersubband plasmon-phonon modes in asymmetric coupled double quantum wells, 27th Int. Conf. on the Physics of Semicond. (Flagstaff, AZ, USA, July 26-30, 2004).
- ・ S.M. Maung and S. Katayama: Gain of intersubband Raman lasing in modulation-doped asymmetric coupled double quantum wells, 11th Int. Conf. on modulated semiconductor structures (Nara, Japan, July 14-18, 2003).
- ・ D.N. Thao, S. Katayama, T.D. Khoa, M. Iida, Calculation of THz radiation due to coherent polar phonon oscillations in p-i-n diode structure at high electric field, 13th Int. Conf. on Nonequilibrium Carrier Dynamics in Semiconductors (HCIS 13) (Modena, Italy, July 28 - August 1, 2003).
- ・ S.M.Maung, 片山信一, 非対称結合2重量子井戸を用いたサブバンドラマンレーザの理論、日本物理学会、秋季大会 (青森大学、9.12-9.15, 2004)
- ・ 長南孝、片山信一、 $\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}$ の局所構造緩和と格子熱伝導シミュレーション、日本熱電学会学術講演会、(湘南工科大学、8.19 - 20, 2004) .
- ・ D.N. Thao, 片山信一, 富澤一隆、GaAs p-i-n ダイオードの超高速キャリアダイナミクスとコヒーレント振動の発生、第59回日本物理学会年会 (九州大学、3.27-3.30, 2004)
- ・ 藤田裕司、片山信一、 Bi_2Te_3 におけるアンチサイト電子状態の計算、日本物理学会、2003年秋期大会、(岡山大学、9.23, 2003) .
- ・ 片山信一、飯田勝、コヒーレントプラズモン-縦光学フォノン結合モードの緩和、日本物理学会 (関西大学、3.23, 2000).
- ・ 片山信一、飯田勝、P-I-N構造半導体のコヒーレントフォノンによるTHz電磁波放射、THz物性研究会、郵政省通信総合研究所、(神戸、1999, 12.1)

共同研究の希望分野

- ・ 光、熱半導体分野 (半導体レーザ、熱電材料など)



JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

国立大学法人 **北陸先端科学技術大学院大学**

〒923-1292 石川県能美市旭台1-1 TEL:0761-51-1111 (代表)
<http://www.jaist.ac.jp/index-jp.html>

産学連携に関するお問い合わせ

先端科学技術研究調査センター

TEL 0761-51-1070 FAX 0761-51-1944

E-mail ricenter@jaist.ac.jp HPアドレス <http://www.jaist.ac.jp/ricenter/index.html>

学術協力課 連携推進室 産学連携係

TEL 0761-51-1906 FAX 0761-51-1919 E-mail renkei@jaist.ac.jp

※平成18年度4月より、材料科学研究科は「マテリアルサイエンス研究科」に名称変更する予定です。

片山研究室

TEL:0761-51-1510 FAX:0761-51-1515 E-mail s-kata@jaist.ac.jp
<http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/kotai/katayama/index-j.html>