

最終講義

光と物質の関わりから 学ぶこと

マテリアル理工学専攻 応用物理学分野

中村新男

光と物質の関わりから学ぶこと

内 容

1. プロローグ
2. ピコ・フェムト秒で見えること
3. 光で光を制御する、物性を制御する
4. ナノスケールで現れる物性
5. エピローグ

サブジェクト&時間軸

光と物質の関わり 歴史

●ギリシャ時代 紀元前3世紀頃:

- ・光の直進性、反射に注目

ユークリッド

幾何学に結びつけて議論

●ローマ時代 1世紀頃:

- ・ガラスのレンズが遺跡から出土

プトレマイオス

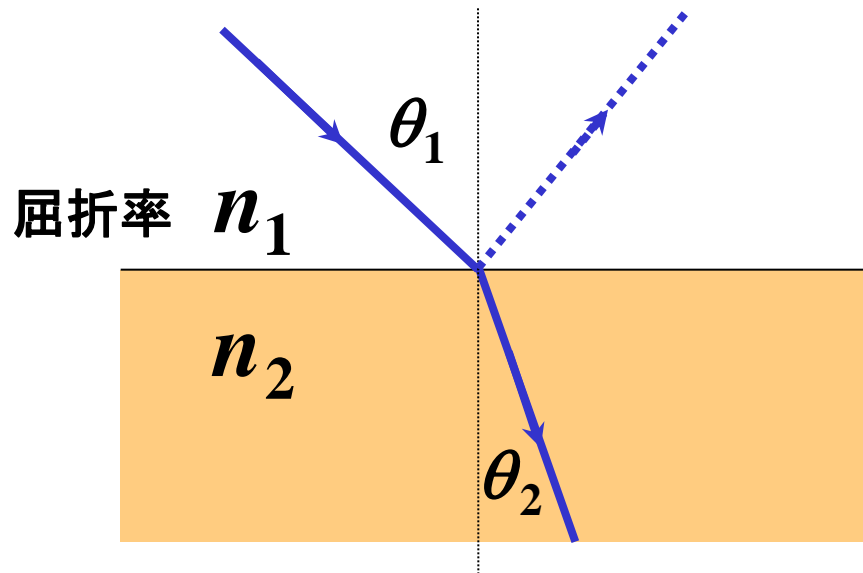
屈折の研究

近代物理学の時代

●17世紀:

スネル

反射・屈折の法則



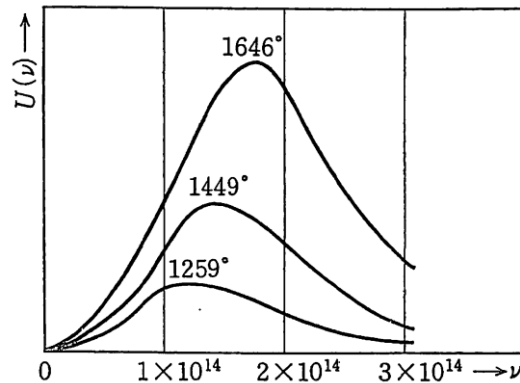
$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

屈折率:物質定数

量子論の誕生へ

●1900年 プランク

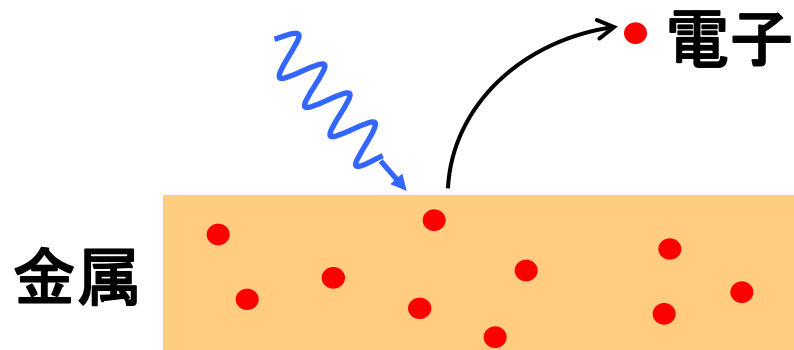
温度Tの物体が放出する光のスペクトル



プランクの輻射公式

朝永振一郎 量子力学 I より

●1905年 アインシュタイン



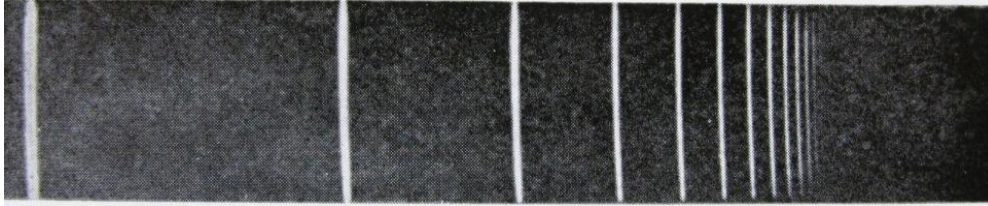
光電効果

$$E = h\nu - P$$

光量子仮説

水素原子のスペクトル

● 19世紀末～20世紀始め

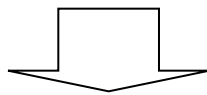


朝永振一郎 量子力学 I より

バルマー、リュドベリ、ライマン、パッシェン、...

● 1913年 ボーアの理論

水素原子スペクトルの統一的解釈



原子模型

講義

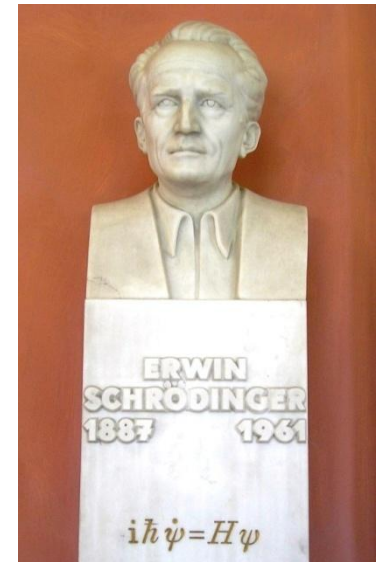
原子物理学
光学第2・物理光学第2

量子力学の体系

シュレーディンガー (1926年)

ハイゼンベルグ (1927年)

ディラック (1928年)



シュレーディンガー方程式

$$i\hbar \dot{\Psi} = H\Psi$$

ハミルトニアン

$H =$ 運動エネルギー + ポテンシャルエネルギー
+ 相互作用

光と物質の関わり

光と物質の関わり

量子論以降

1926年	シュレーディンガー方程式	原子
1928年	ラマン散乱の実験 (C. V. Raman)	↓
1940年	Mott-Gurneyの教科書 (イオン結晶の電子過程)	分子
1947年	トランジスターの発明 (エネルギーバンドの電子)	↓
1948年	結晶中の水素原子類似電子状態 (F中心)	結晶
1957年	「光物性」のはじまり (物理学会の分野名)	↓
1960年	レーザーの発明 (固体中のCrイオン)	↓

波長、時間、位相の制御された光と物質の関わり

私にとっての

研究のはじまり～東北大学まで

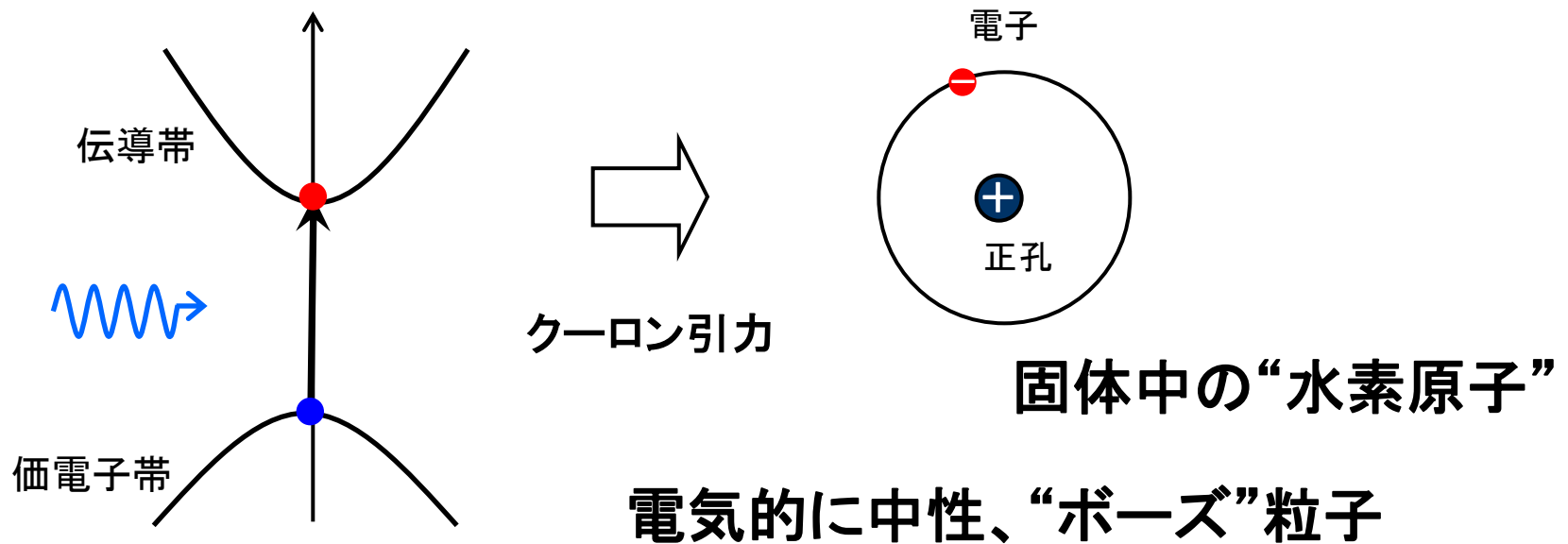
1970～1985

励起子と液滴

●大学院時代の研究（1970～1975）

東京大学物性研究所（森垣和夫先生）

●励起子とは *Exciton* エキシトン



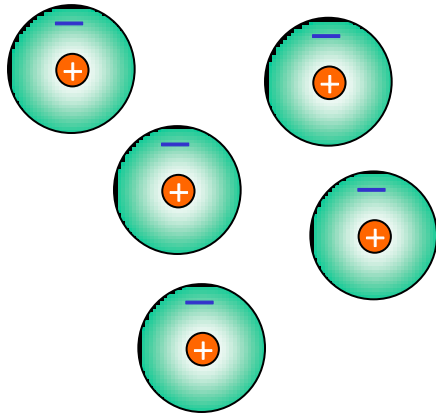
絶縁体・半導体の光物性の主要な役者

物性分野での興味

●水素の金属化

固体水素に高圧力を印加 → 原子間距離の減少

電子－原子核間のクーロン引力が遮蔽



原子のイオン化 → 自由電子

絶縁体－金属転移

Mott転移

水素原子の代わりに励起子を使う



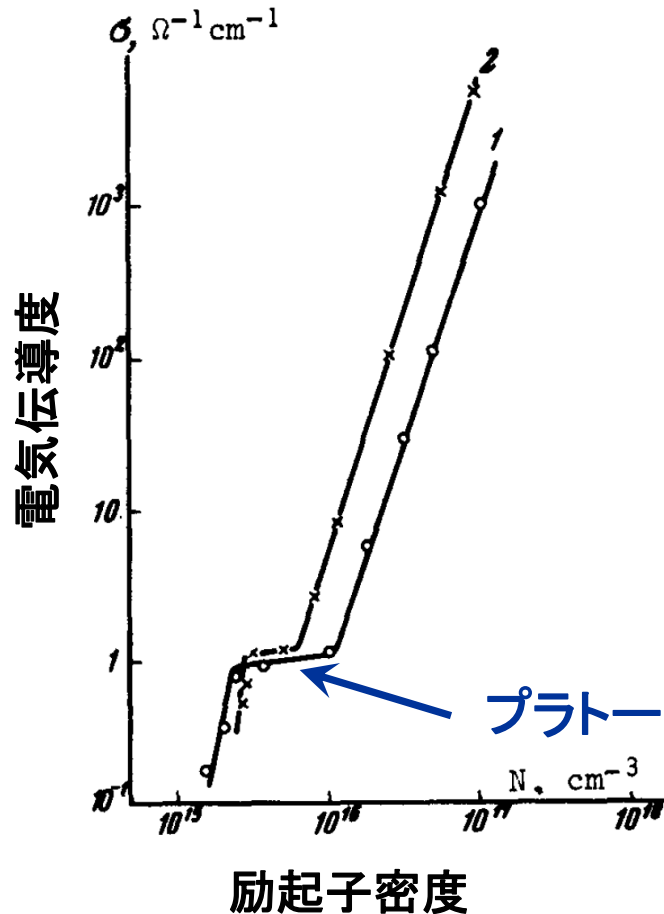
高出力パルス
レーザーの出現

励起子系の金属化

●Asnin-Rogachevの実験

ZhETF Pis'ma 7, 46, 1968

ゲルマニウム



励起子の金属化



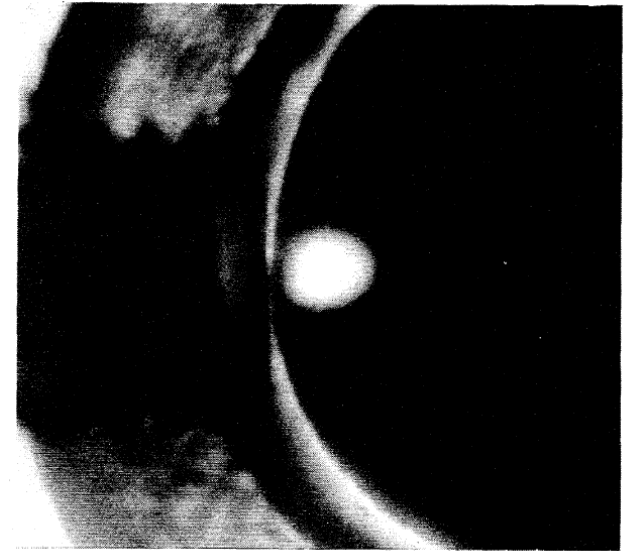
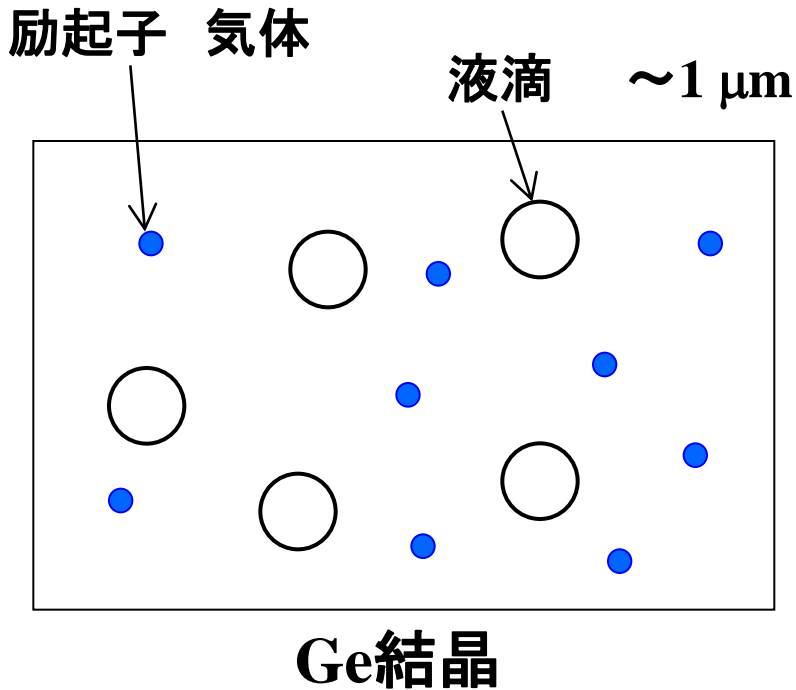
電子と正孔のプラズマ状態

結晶全体は金属状態になっていない？

Keldyshの予言 → 液滴の存在

液滴とは

液滴の観測



R. S. Markiewicz et al., Phys. Rev. B, 1977

(Kittel: 固体物理学入門に解説)

液滴： 励起子が空間的に凝縮した金属的状态

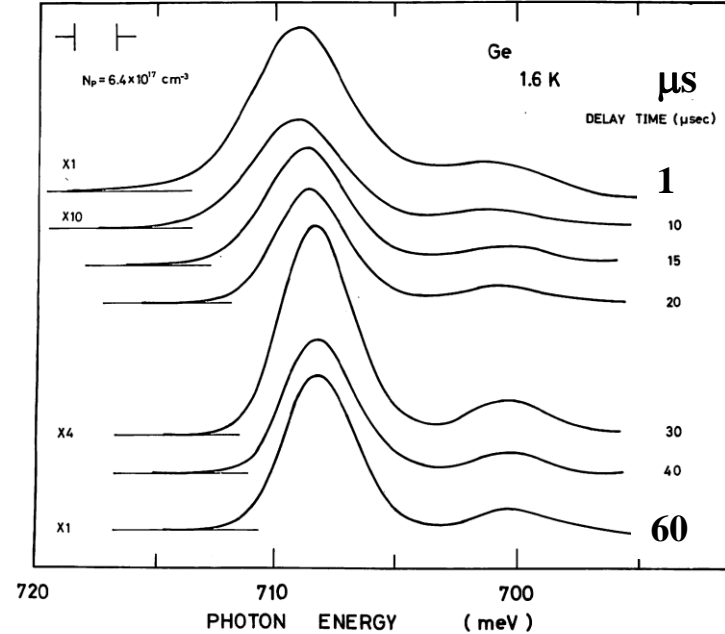
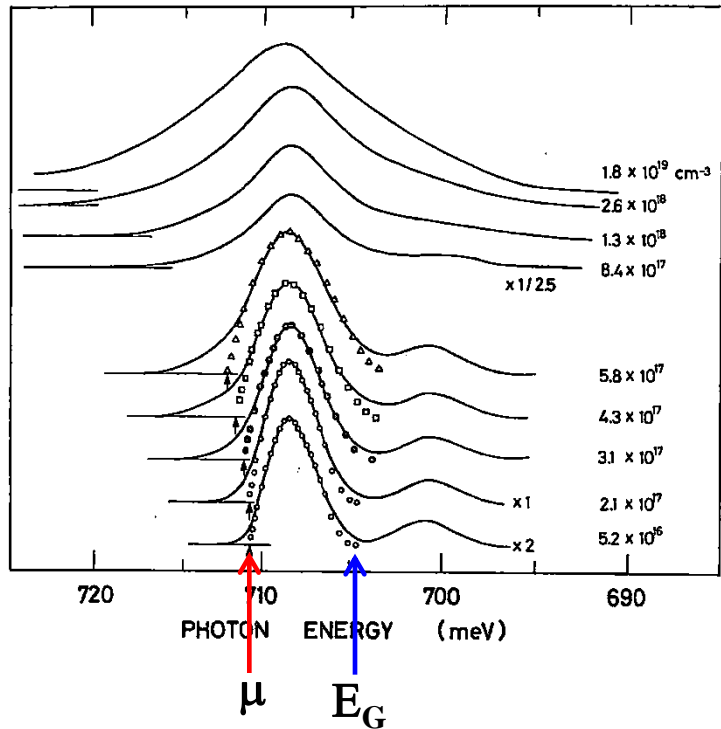
液滴から液体へ

励起子密度をさらに高密度にする

発光スペクトル

励起強度

時間依存性

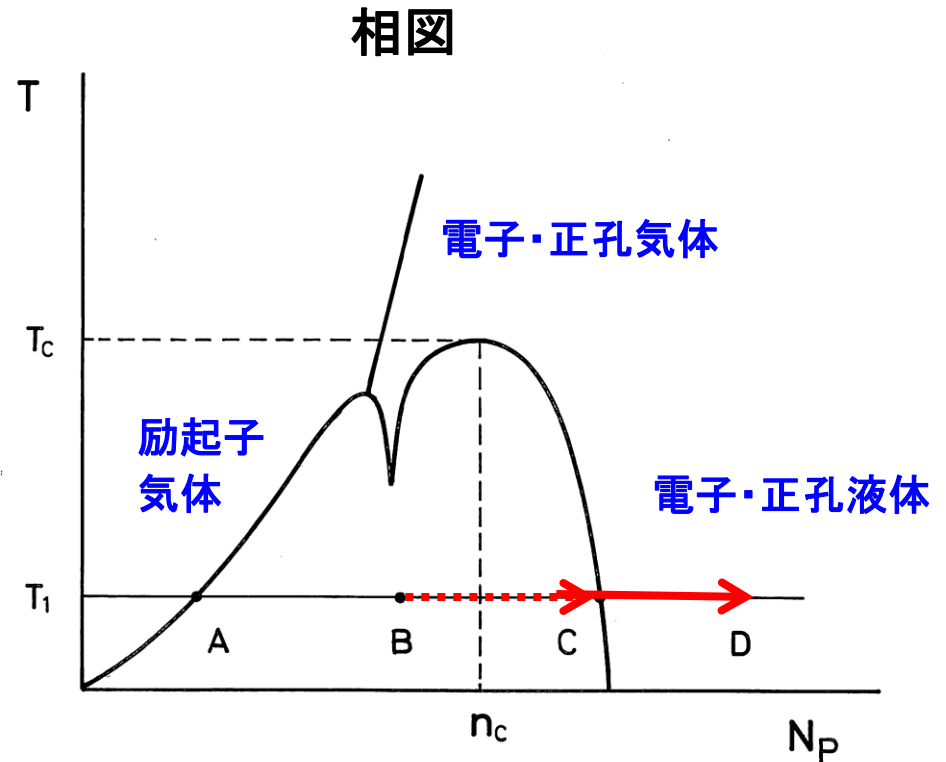
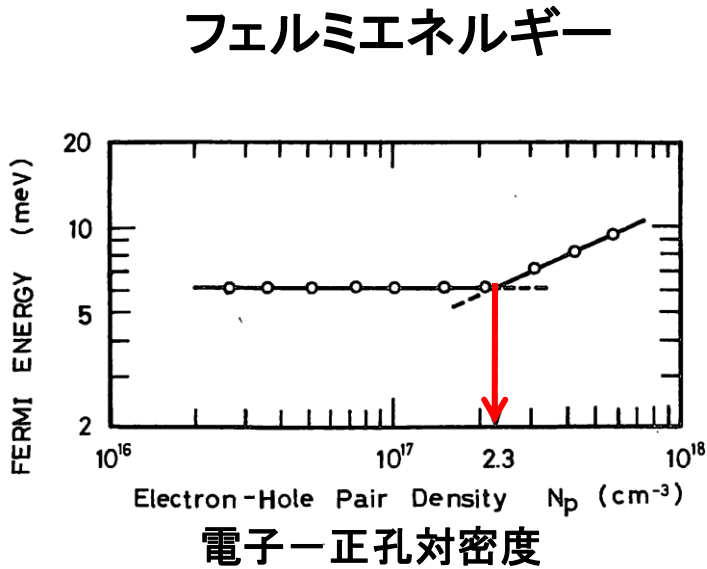


A. N. and K. Morigaki,
Solid State Commun. 1974

パルスYAGレーザー(10 ns)、ボックスカー積分器

結晶全体に電子・正孔プラズマ状態が生成

液滴から液体へ



中村新男 博士論文

励起子気体 → 電子・正孔液滴 → 電子・正孔液体

絶縁体・金属転移は、気体・液体転移を伴う

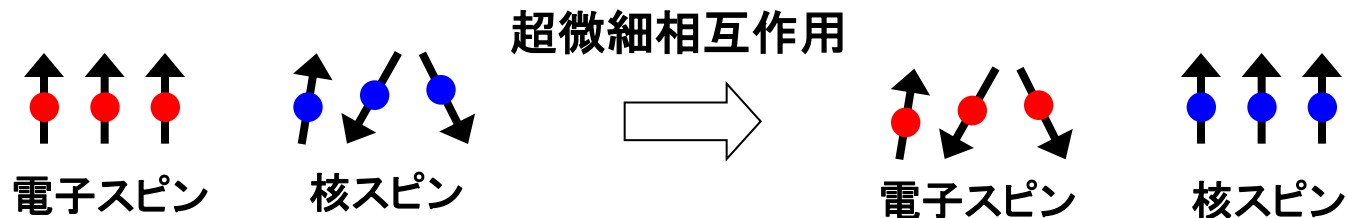
ポスドクとして外国へ

エコール・ポリテクニク (1975.10~1978.11)

Prof. I. Solomon, Prof. G. Lampel

1. 半導体の光ポンピングによるスピン偏極

円偏光励起による電子スピン偏極 → 核スピんに転写

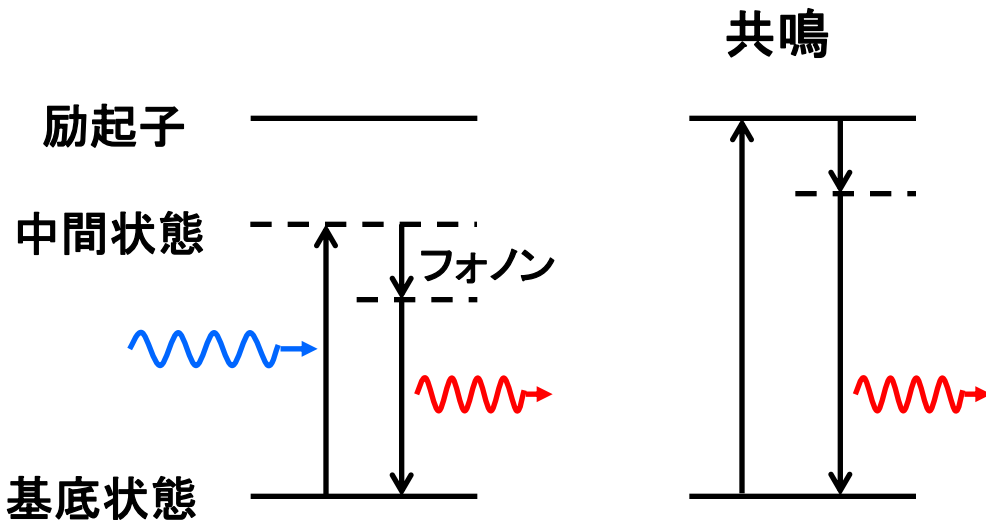


巨大Overhauser効果の観測

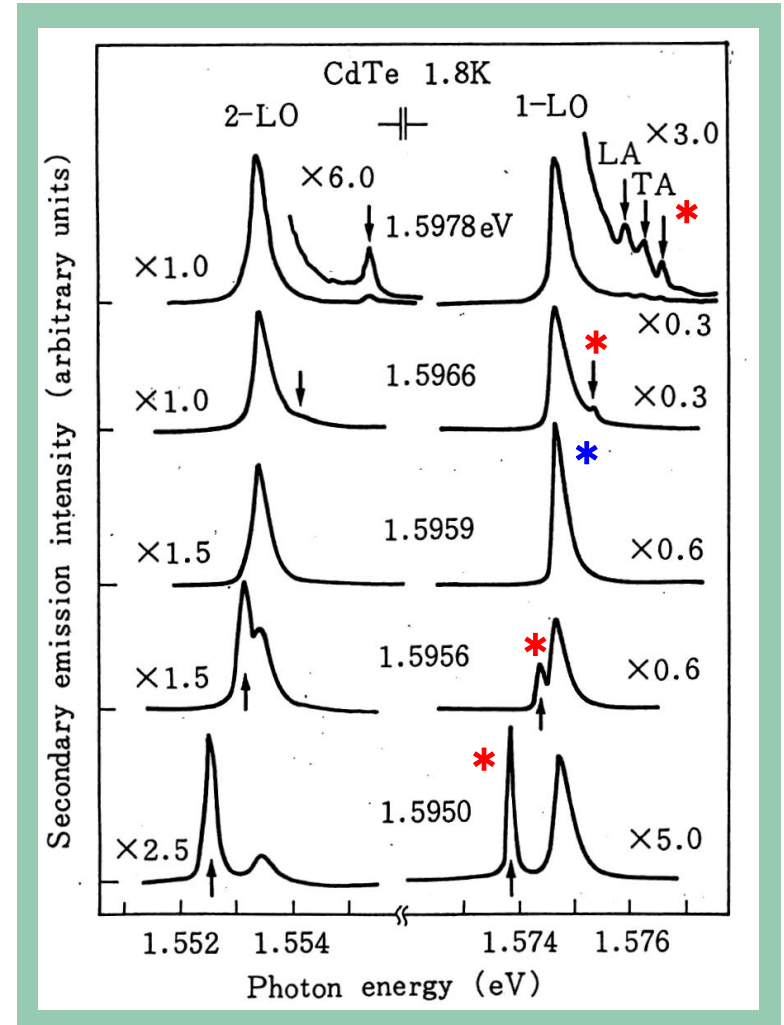
*V. L. Berkovits, C. Hermann, G. Lampel,
V. I. Safarov, A. N., Phys. Rev. 1975*

2. 半導体のラマン散乱

CdTeのラマン散乱の共鳴効果



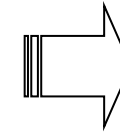
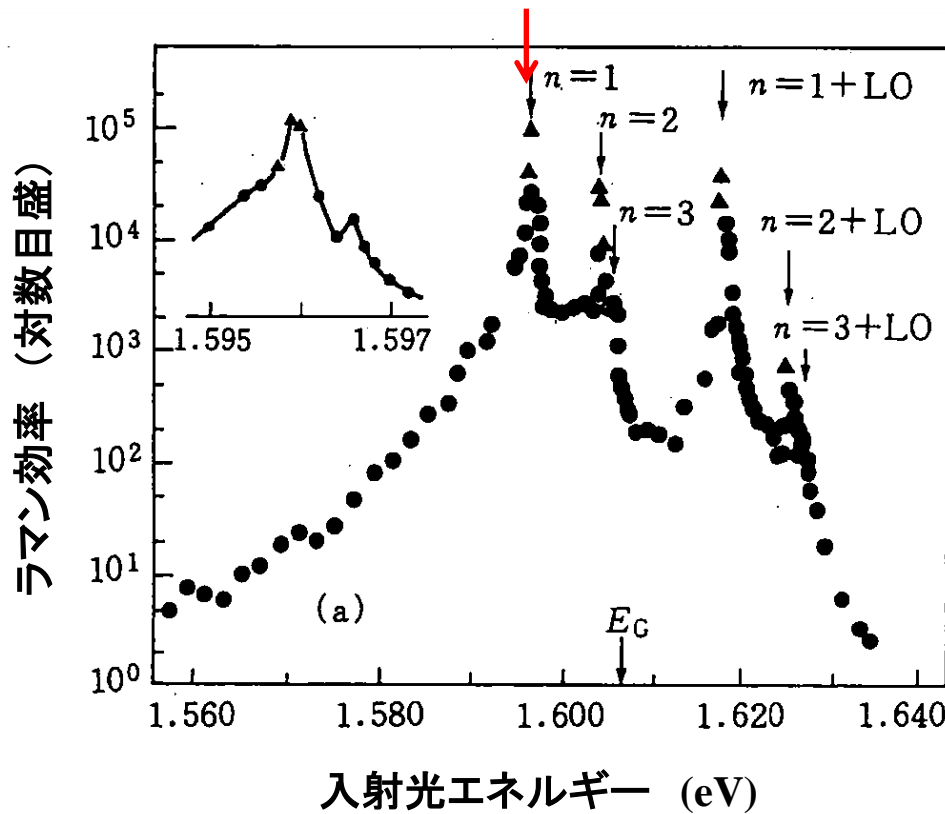
入射光エネルギーが励起子準位に近づくと、
ラマン信号が共鳴的に増大



A. N. and C. Weisbuch,
Solid State. Commun. 1979

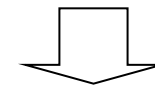
大きな共鳴増大効果

ラマン効率の入射光依存性



4桁の共鳴増大

励起子と分極が連成した波



ポラリトン

共鳴における群速度の減少に対応して、ラマン効率が増大

エコール・ポリテクニク

l'Xとは？

フランスの理工系の有力“大学” ナポレオンが創設

初代校長；ラグランジュ 卒業生；カルノー、ポアッソン、**ゴーン**



エコール・ポリテクニクHPより



1977年



学んだこと

- ・独自性を大切にする
- ・データが出たら、すぐになぜか(解釈)を考える

物性研究所へ

●極限レーザー部門（1978.12～1982.3）

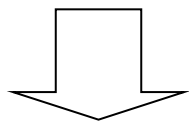
「極限レーザー計画」（塩谷繁雄先生、矢島達夫先生）

1972年～ ピコ秒ガラスレーザーによる励起子の分光

1979年～ 非線形光学分光法の開発

・レーザー、レーザー分光法の開発

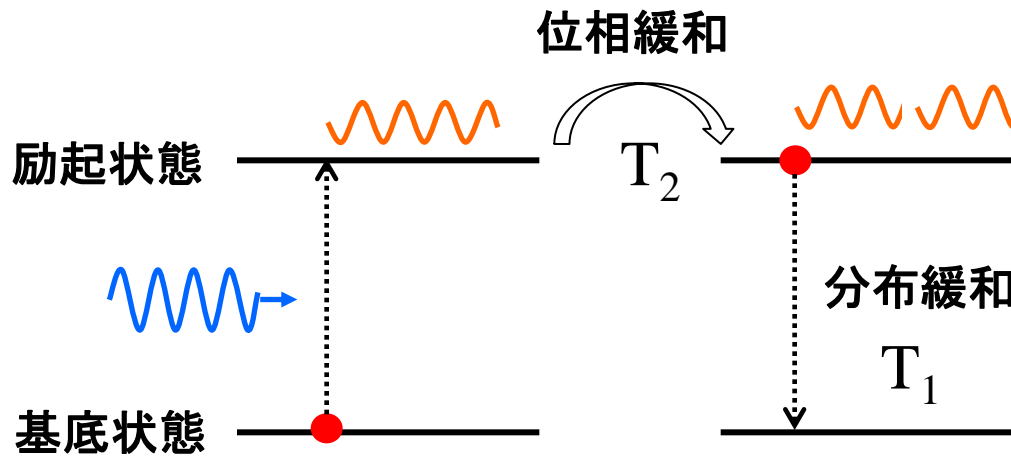
量子エレクトロニクス分野の研究



光物性研究に、超高速レーザー分光、非線形光学を取り入れる

励起状態のコヒーレンス

レーザー光励起 → 同位相の励起状態



位相緩和現象の観測

対象： ペンタセン分子、半導体

東北大学へ

●工学部応用物理学科 (1982.4~1986.3)

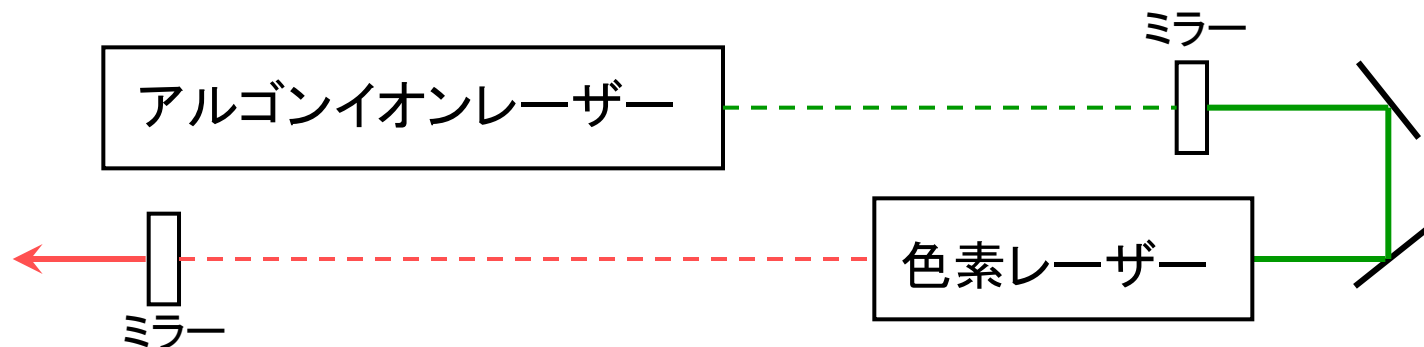
平井正光 先生

アルカリハライド結晶のF中心、自己束縛励起子の研究

1. ラマン散乱をピコ秒レーザー分光で観測

対象： 混晶半導体、アルカリハライド結晶のF中心

・モード同期ピコ秒レーザーの自作・組み立て

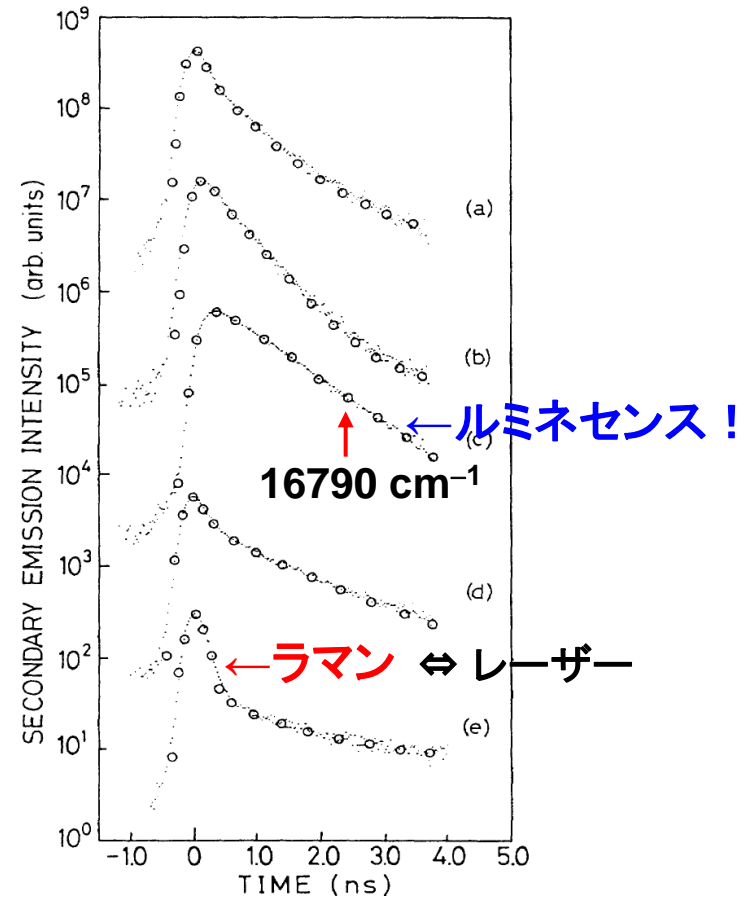
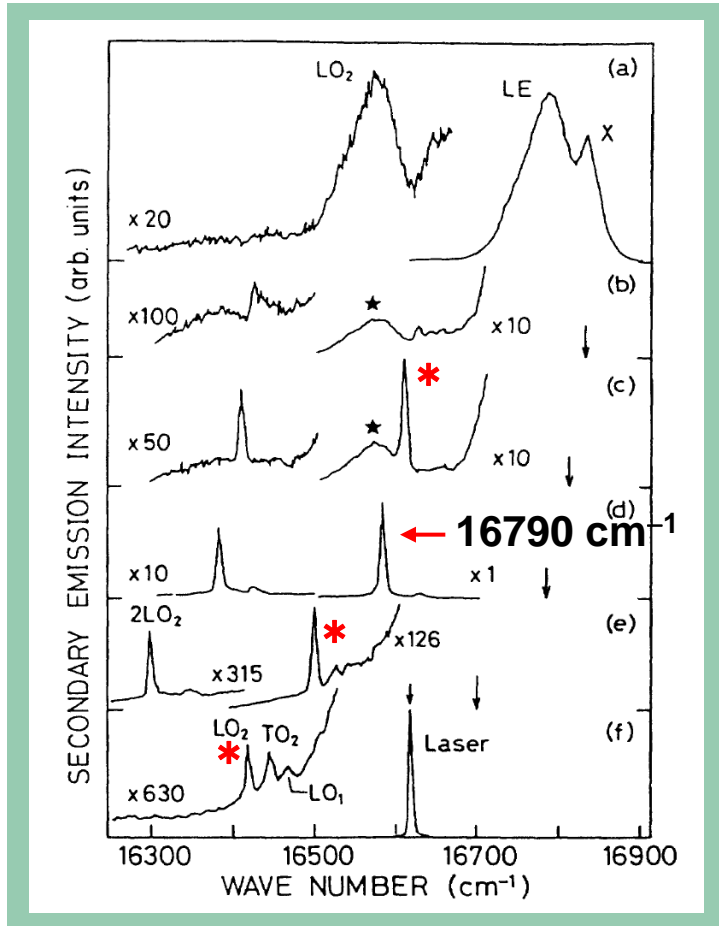


2. GaAs/AlAs超格子半導体の研究

ラマン散乱とルミネセンス

スペクトル $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$

時間挙動

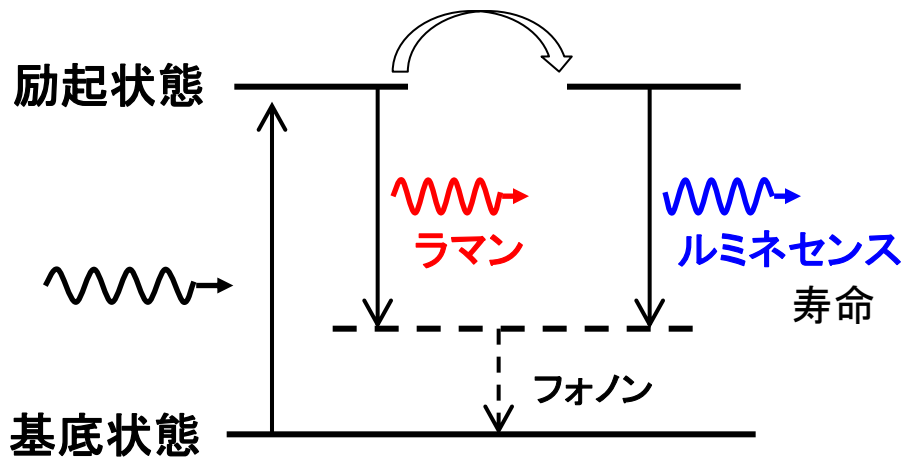


スペクトルではラマン散乱に見えるが、ルミネセンスである！

ルミネセンスからラマン散乱へ

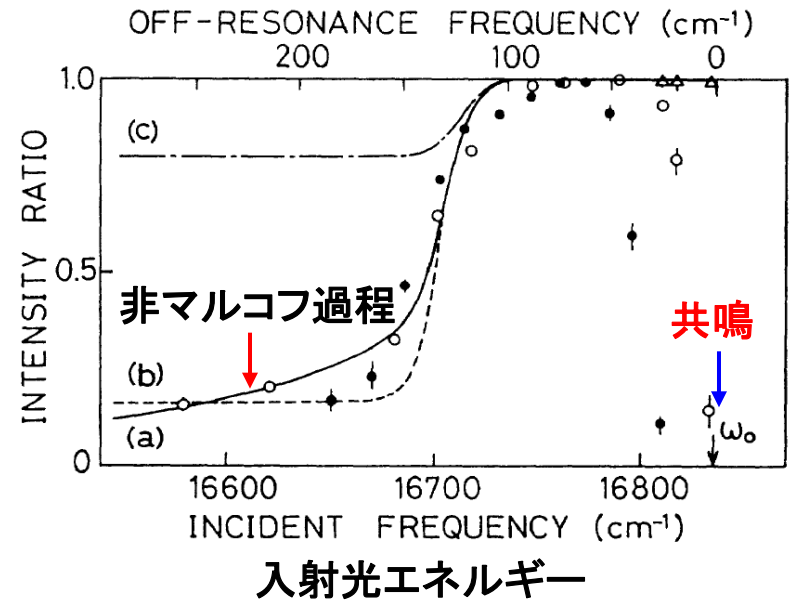
励起状態の位相緩和が、ラマン散乱かルミネセンスを決める

位相の緩和



ラマン散乱光はレーザーと同じ時間応答

ルミネセンス成分比



非マルコフ効果が重要である

共鳴二次光学過程の理論

- ・豊沢、小谷、住
- ・久保、高河原、花村
- ・相原

名古屋大学へ

1986年4月

名古屋大学における研究 はじまり

●工学部応用物理学科 応用光学講座(近 璋三 先生)

1. 半導体超微粒子の研究

- ・超格子半導体の研究から着想 (2次元から0次元へ)
- ・名大応物の伝統(上田良二先生)

2. フェムト秒レーザーによる緩和ダイナミクスの研究

- ・特別推進研究 (1987~1991年度)

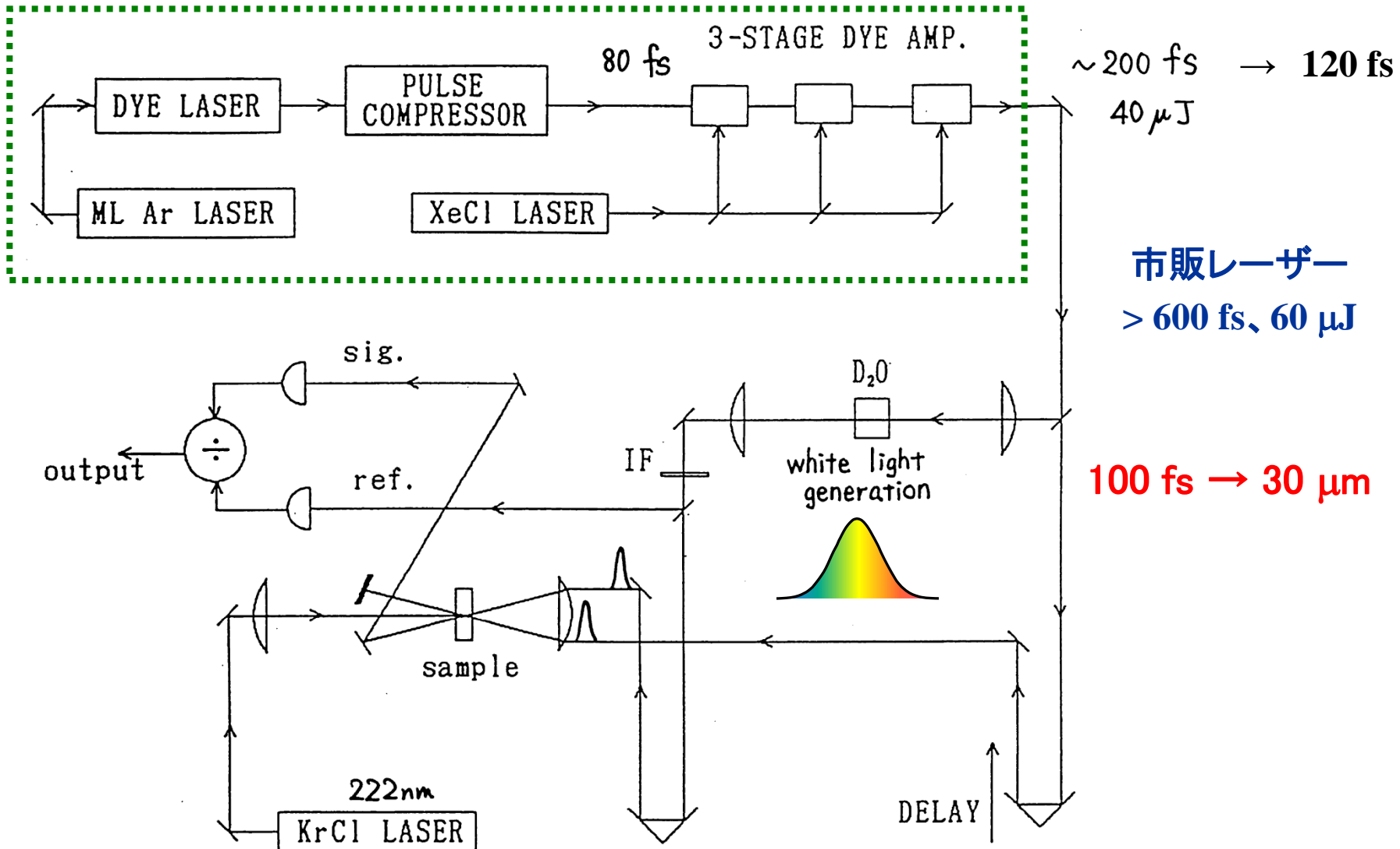
理学部: 伊藤憲昭先生(代表者)、谷村克己先生

「固体における電子励起誘起原子過程の研究」

1988年5月に、時崎高志氏が助手として着任

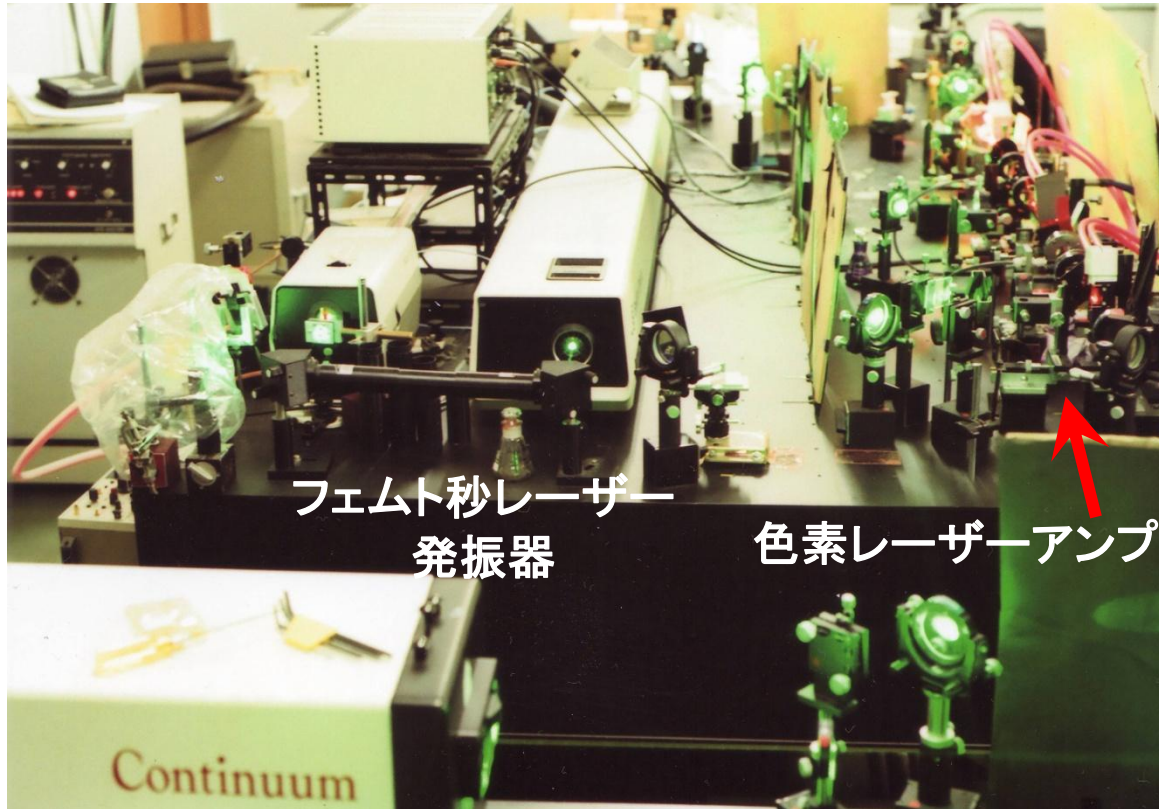
理学部B館にフェムト秒レーザーシステムの“建設“

フェムト秒レーザーと測定系



フェムト秒レーザーアンプ

1991年当時の理学部B館実験室



YAGレーザー励起4段アンプに改造後

見る世界を変えるために、
道具をつくる

光による原子の移動

紫外線



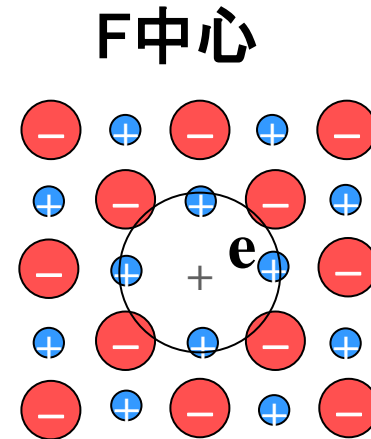
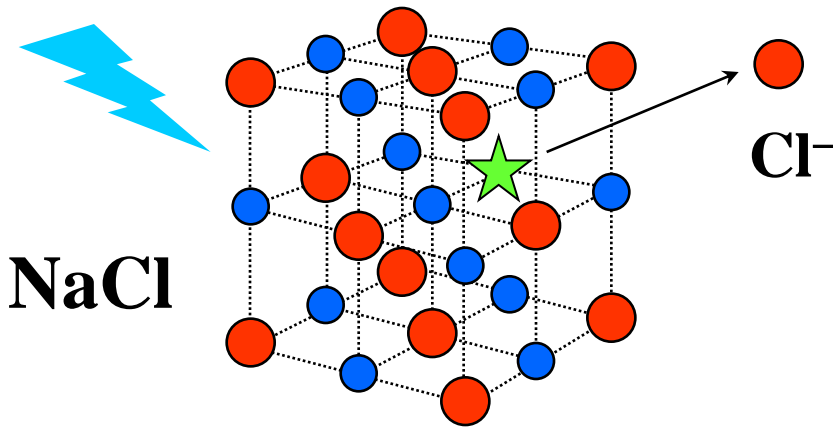
アルカリハライド結晶

透明

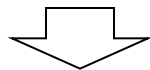


黄色

色が着く



光によって原子が抜ける

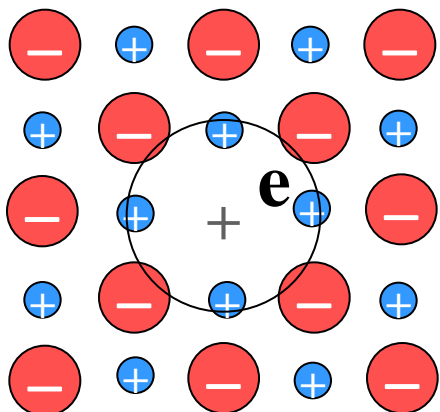


欠陥の生成

水素原子類似の電子状態

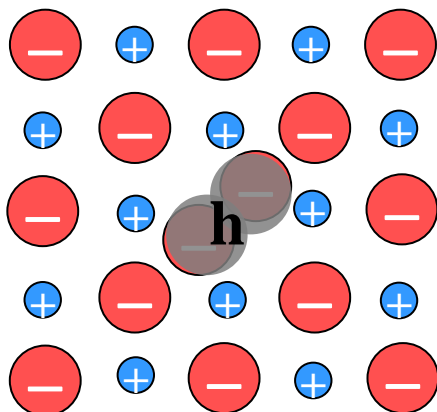
欠陥の電子状態と光励起

F中心



—イオンが抜ける

H中心



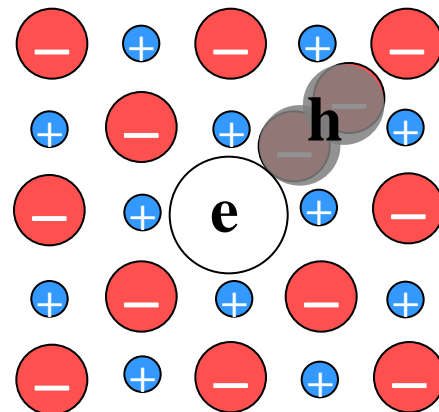
格子間に侵入

光

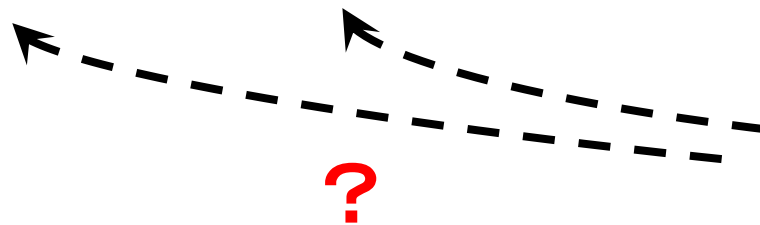


電子と正孔の励起

格子を歪ませて
電子と正孔が束縛



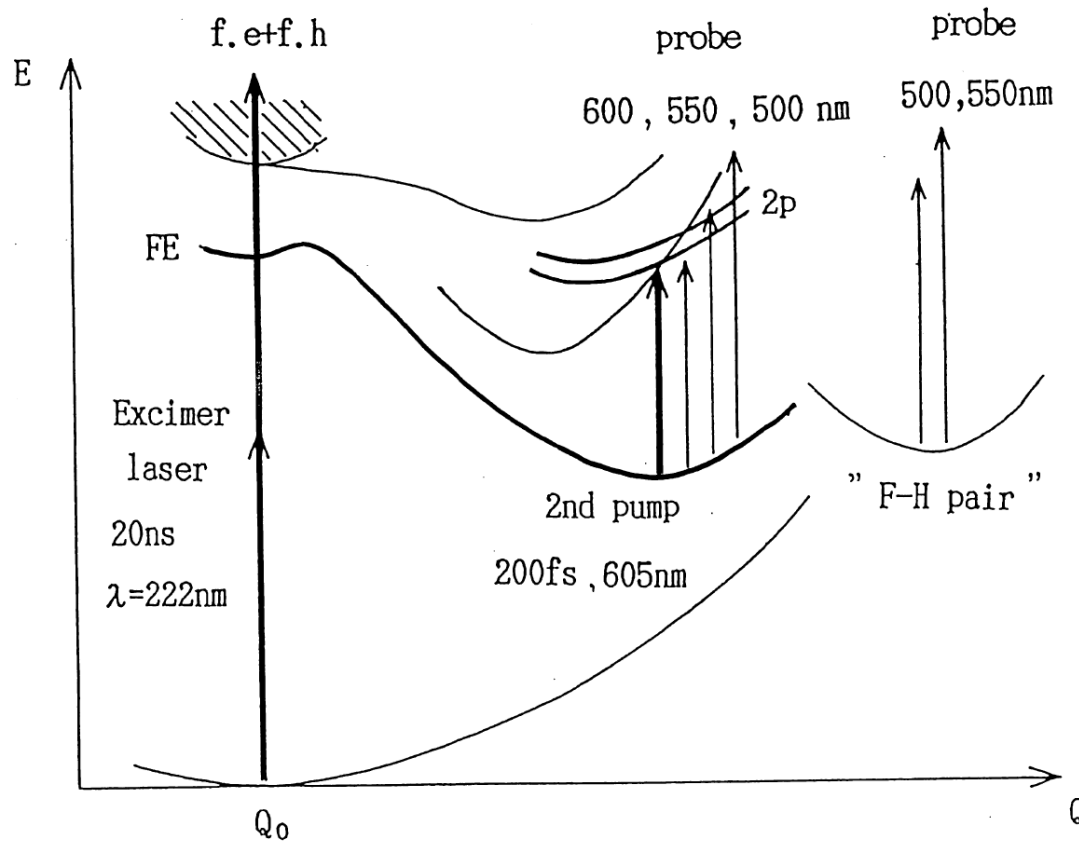
自己束縛励起子



—イオンが動き始める “瞬間” を見たい!

F 中心生成のダイナミクス

2段階励起の模式図

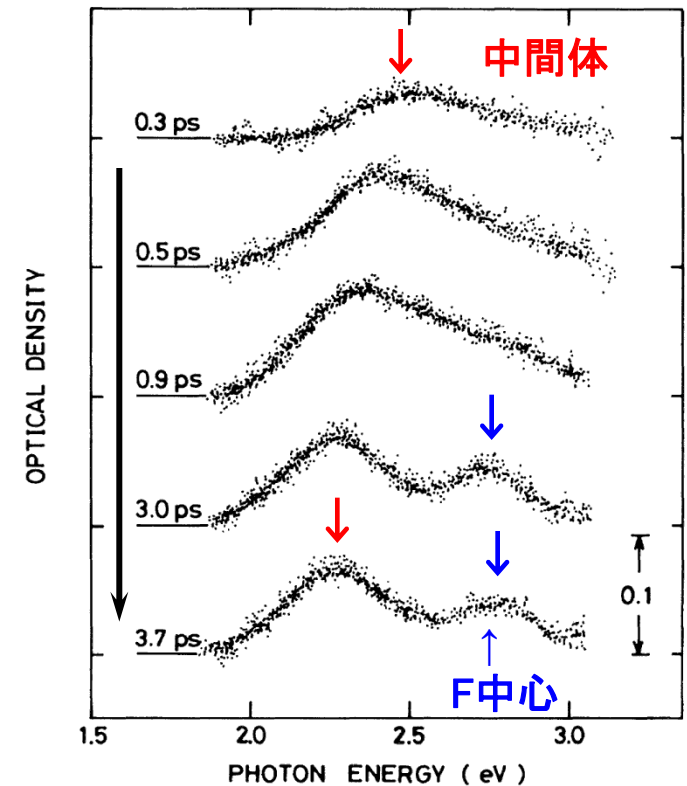


(1989年10月物理学会スライド)

時崎、秋山、中村、牧村、谷村、伊藤

NaCl

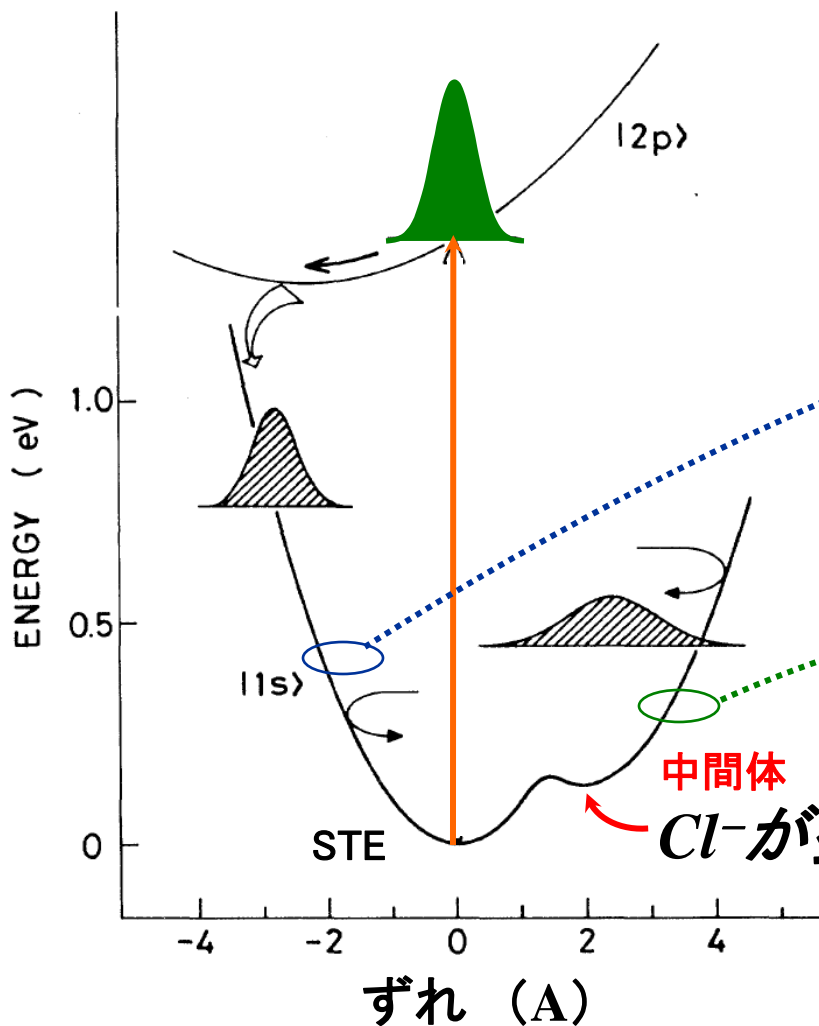
過渡吸収スペクトル



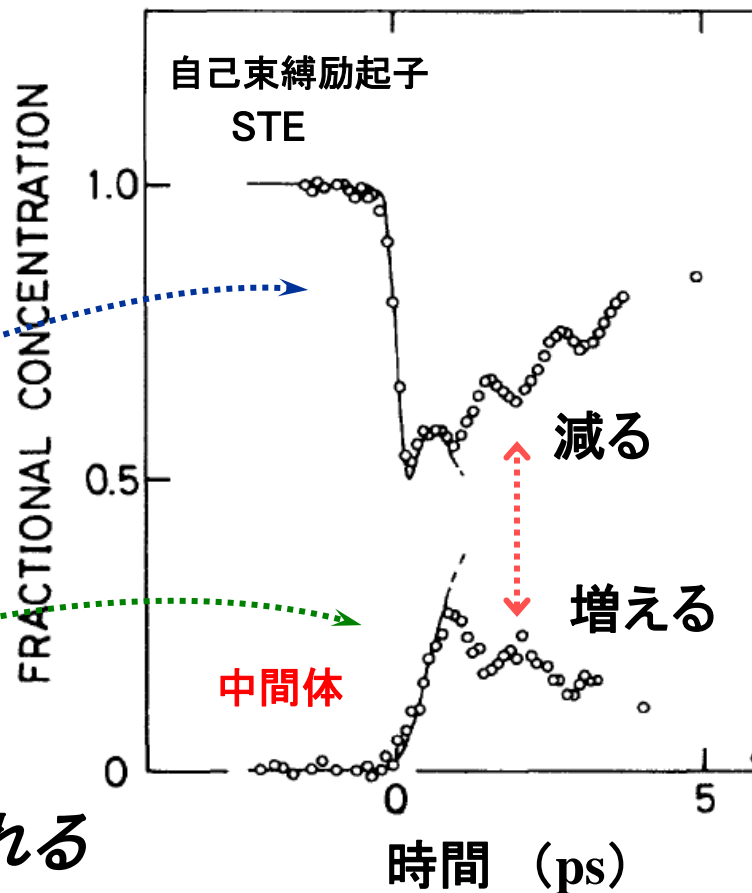
Phys. Rev. Lett. 1991

NaCl結晶中の電子の振動

ポテンシャルエネルギー曲面



時間発展

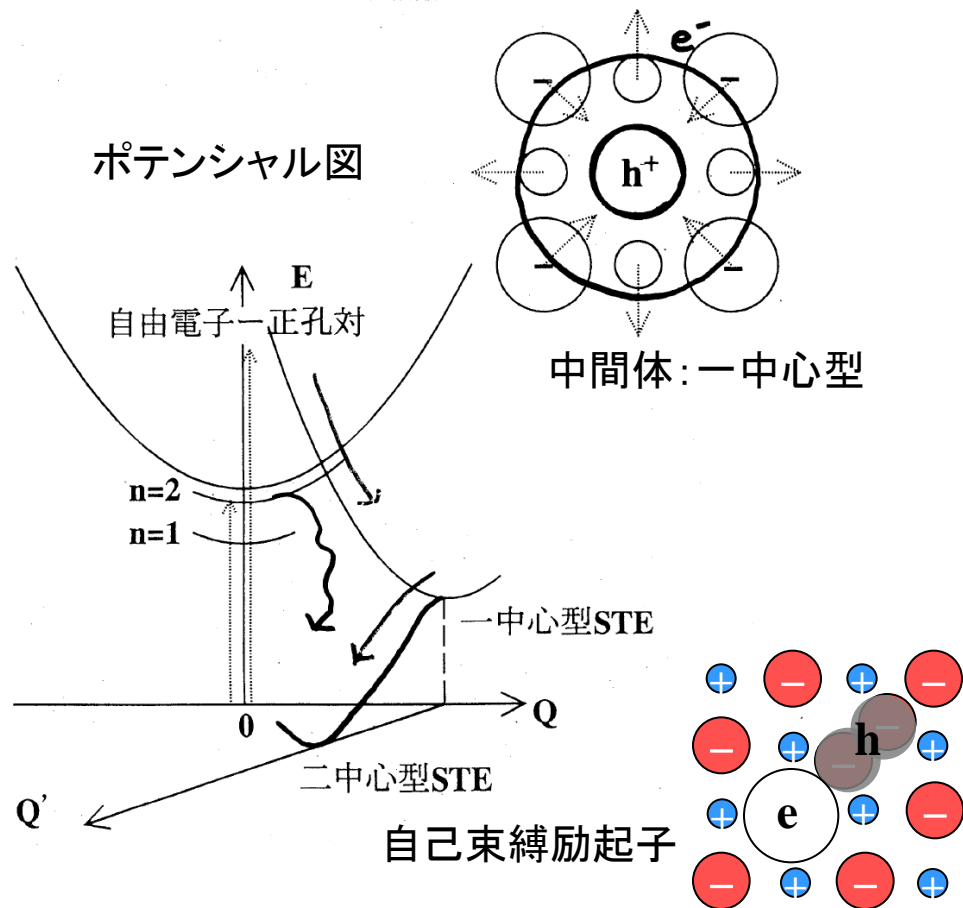
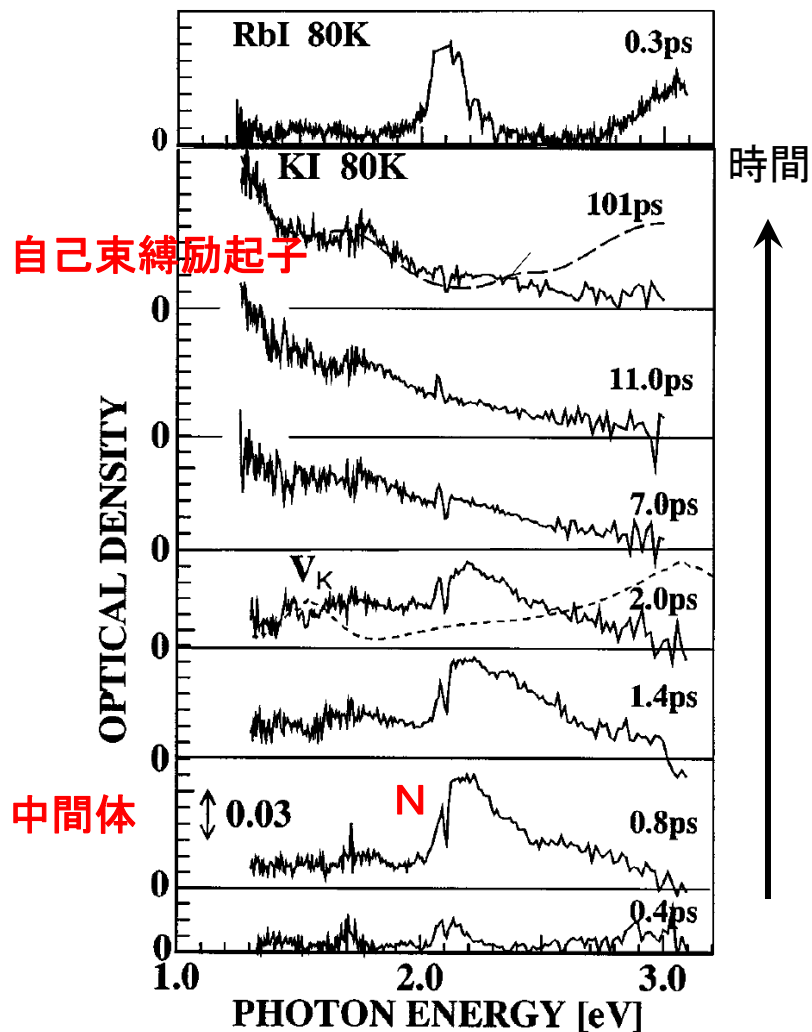


2つの極値の間を波束が運動

自己束縛励起子の生成過程

自由電子-正孔の励起

岩井、時崎、中村
谷村、伊藤、Shluger



光で誘起する物性の研究へ

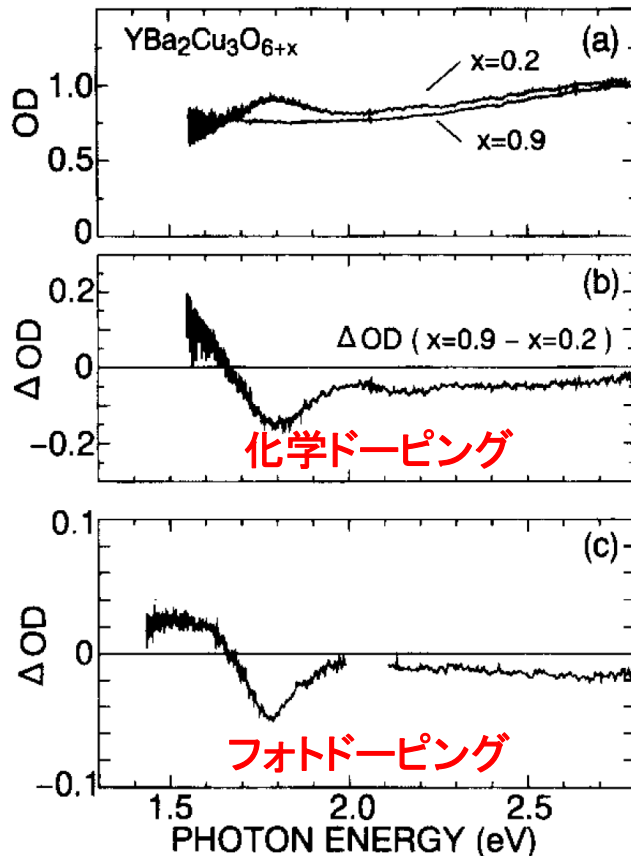
1992年～現在

フォトドーピングの効果

●高温超伝導体の母体物質

・光キャリアの注入 → 超伝導？

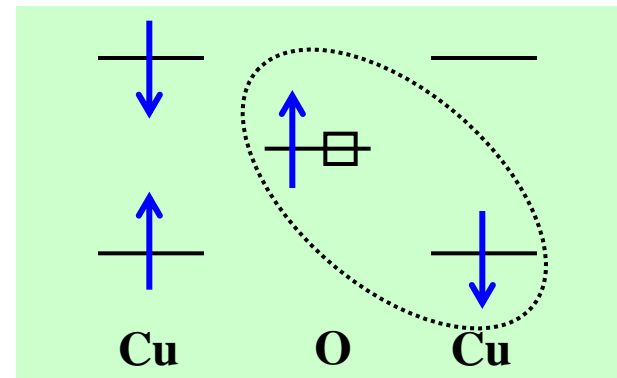
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$: 正孔ドーブ超伝導体



超伝導工学研究所:

平林泉、川本浩二、生田目俊秀
市田(1993年~助手)、松田

過渡的 Zhang-Rice 一重項の形成



$x = 0.2$
↓
 $x = 0.4$

理工科学総合研究センター

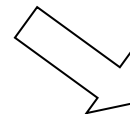
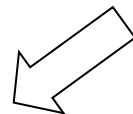
1995年4月～2002年3月

微細構造制御による複合機能材料の研究

第3研究室 「高次機能性材料の物性とその光材料への応用」

- ・テーマを設定して、7～8年間のプロジェクト型研究を実施
- ・化学・材料・電気・建築・土木・物理の異分野交流
- ・大学院担当は、結晶材料工学専攻

微細構造制御

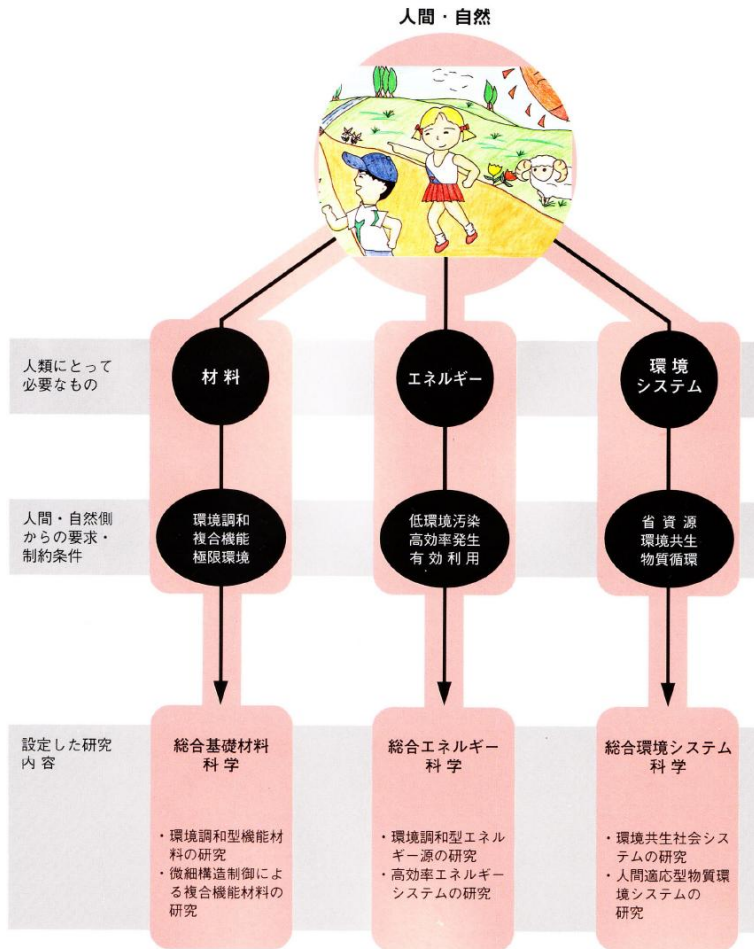


原子・分子の配列制御

ナノ構造の制御

1996年、守友 浩 助教授、濱中 泰 助手が着任

■中核的研究分野の設定



The staff

センター長

教授 松尾 稔

総合基礎材料科学リサーチグループ

(Division of Materials Science)

教授 岩原弘育 助教授 伊藤秀章 助手 志村哲生

教授 興戸正純 助教授 大谷 肇

教授 中村新男 講 師 時崎高志 助手 市田正夫 小椎八重 航

教授 日比野倫夫 助教授 丹司敬義 助手 小粥啓子

総合エネルギー科学リサーチグループ

(Division of Energy Science)

教授 堀川直顕 助教授 武藤俊介 助手 景谷恒雄

教授 田辺哲朗 助教授 上杉喜彦

教授 鈴置保雄 講 師 山田 裕

客員教授 村上雅人

総合環境システム科学リサーチグループ

(Division of Global Environment Science)

教授 伊藤義人 助教授 奥宮正哉

教授 藤間幸久 助教授 川添博光

客員(外国人)教授 Colin W.Clipson(予定)

事務室長 森川一三

事務掛長 川瀬隆夫

事務掛主任 山川明美

事務掛員 松原治子

荒谷勝彦

教務職員 舟橋祥子

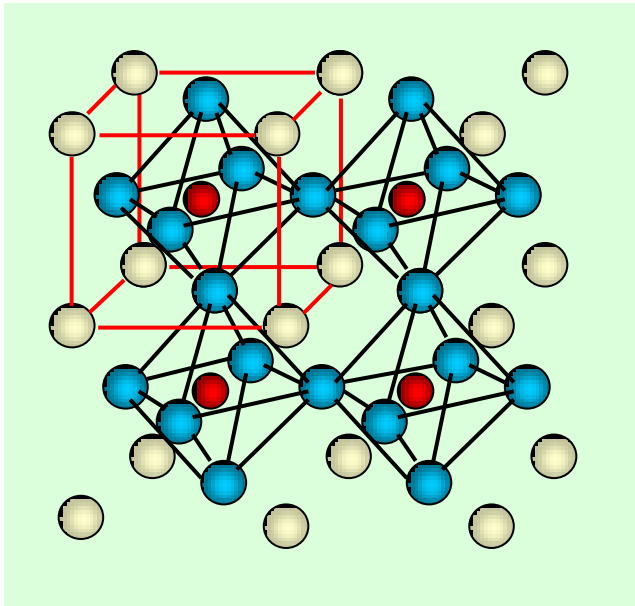
技術職員 森田千明

荒井重勇 畔柳友章 小塚基樹

平成7年6月1日現在

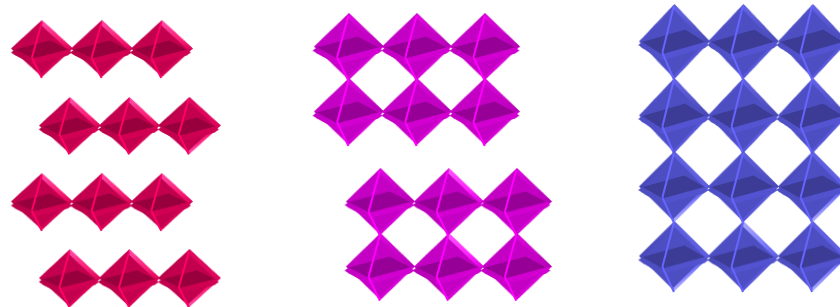
原子・分子の配列制御

ペロブスカイト型構造

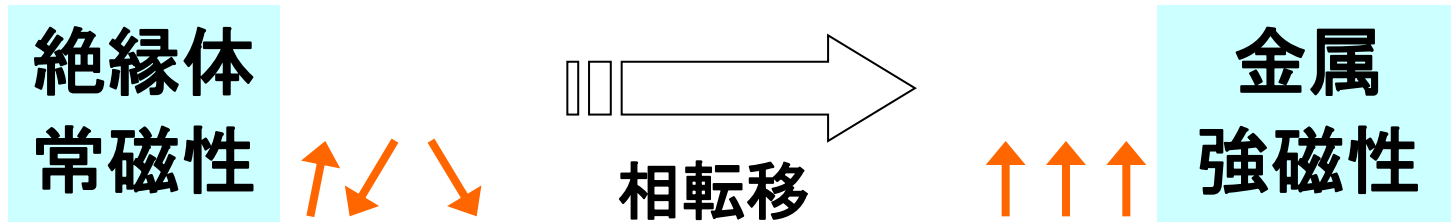


- A-サイト
希土類金属: La^{3+} 、 Nd^{3+} など
アルカリ土類金属: Sr^{2+} 、 Ca^{2+} など
- B-サイト
マンガン: Mn^{3+} 、 Mn^{4+}
- 酸素: O^{2-}

原子配列の制御



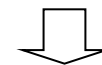
マンガン酸化物



磁気相転移と金属－絶縁体転移が、同時に起こる

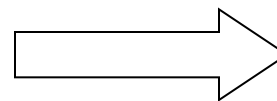
- ・電荷
- ・スピン
- ・軌道
- ・電子-格子相互作用

電子同士に強い相関がある



強相関系材料

光で磁気秩序を壊す

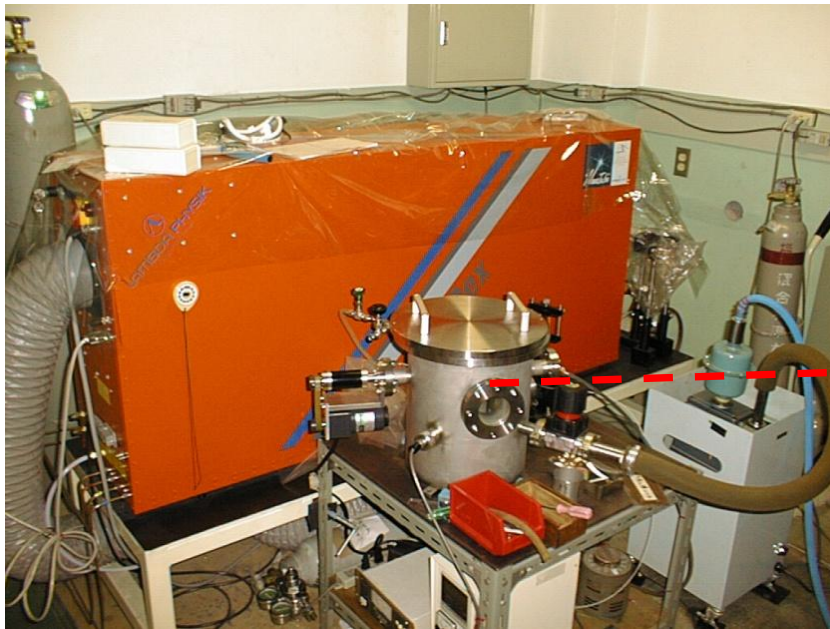


磁気相転移
金属－絶縁体転移

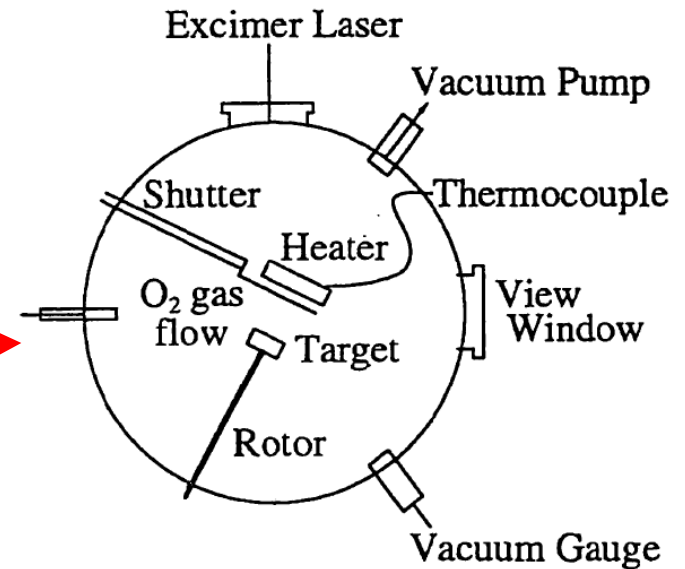
試料の作製装置

レーザーアブレーション法による薄膜試料の作製

エキシマレーザーと真空チャンバー

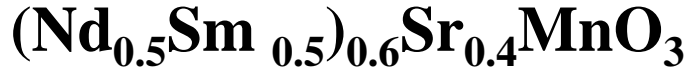


真空チャンバー内部



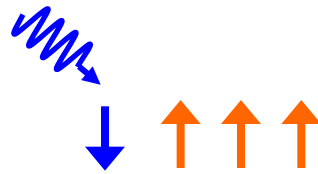
応物工作室の製作

光による磁気転移

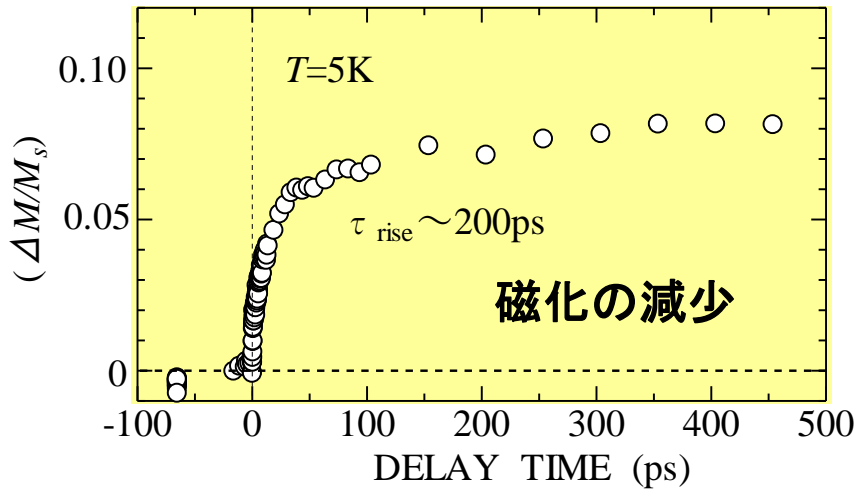


$T_c = 155 \text{ K}$

100 fsパルス光による
下向きスピンの注入

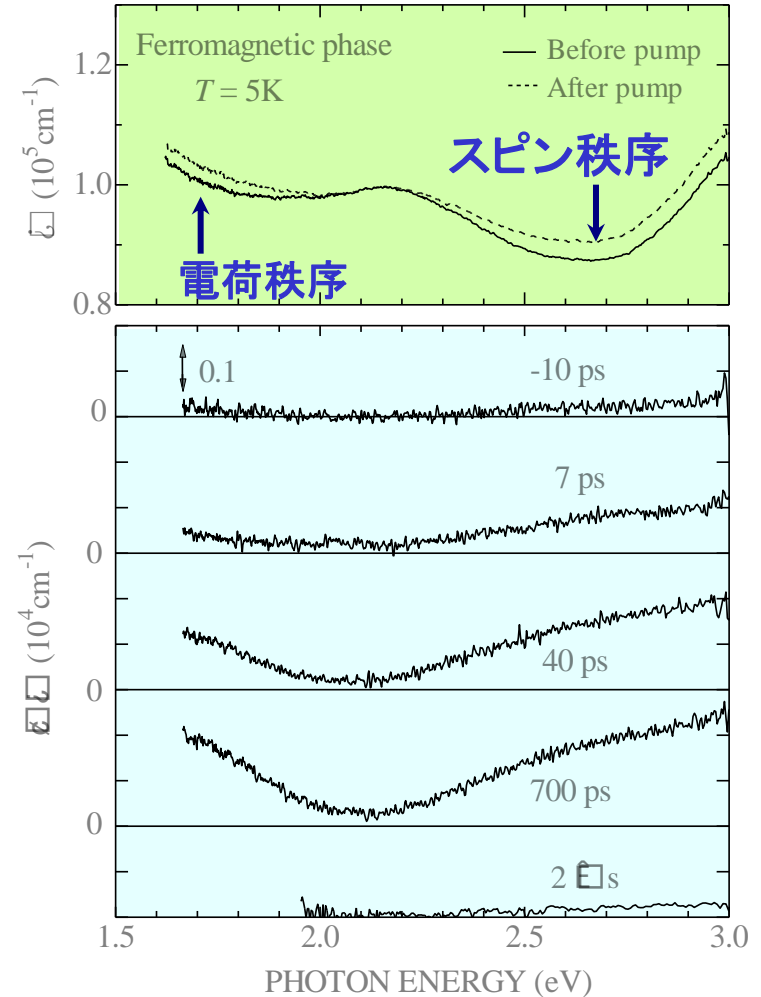


時間発展



1個の光子で、30個のスピンを反転

吸収スペクトル



光誘起相転移

●マンガン酸化物

電気抵抗制御、臨界緩和現象

守友、劉、町田、岡田、市田
村上、浅野(結材)

田中、川合(阪大産研)

●CrO₂

磁気秩序とスペクトル
スピン秩序のダイナミクス

守友、山本、吉井

●混合原子価金錯体

圧力・光誘起相転移、臨界緩和現象

守友、劉
小島(東大総合)

●プルシアンブルー型錯体

ダイナミクス

守友、立石、神谷、山内、別府
小島(東大総合)
大越(東大理)

☆ 特定領域研究(B) 「光誘起相転移とその動力学」

代表者：那須奎一郎、 班長：谷村克己、中村新男 (1999年度～2002年度)

物理学会講演件数 ～5件 → ～30件

強相関系酸化物の物性

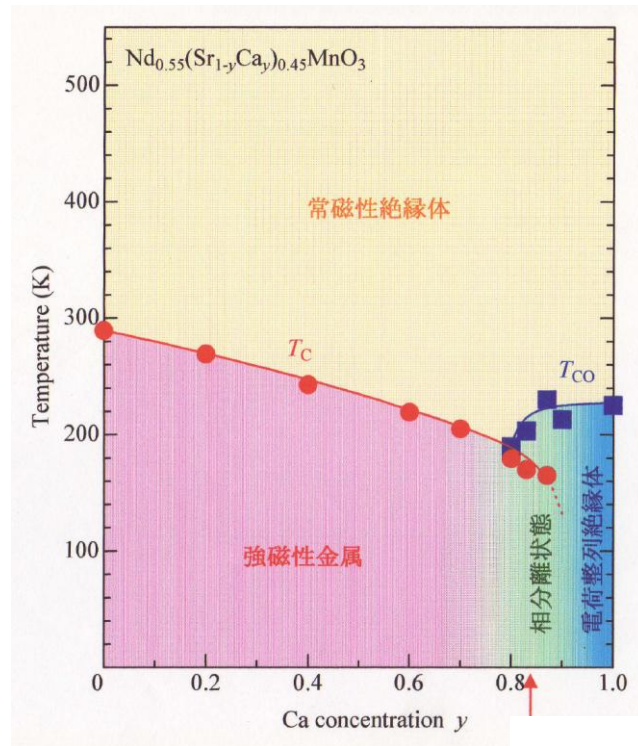
守友助教授が中心となって行った研究



構造解析(X線、中性子)



磁気・電子相図



町田晃彦博士論文

物質合成

結晶作成



電気・磁気測定



超微粒子、十ノ結晶の研究

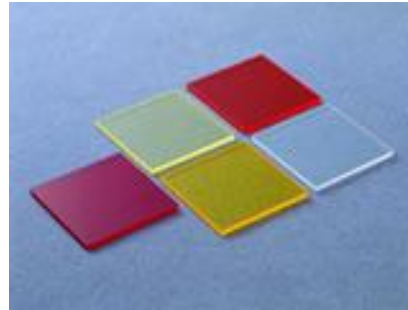
1986年～現在

超微粒子・ナノ結晶とは

●半導体ナノ結晶分散ガラス



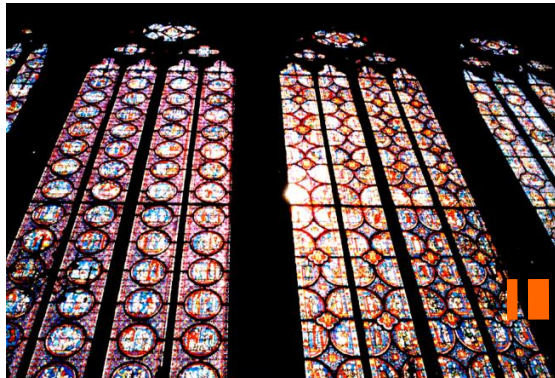
交通信号機



シグマ光機(株)HPより
色ガラスフィルター

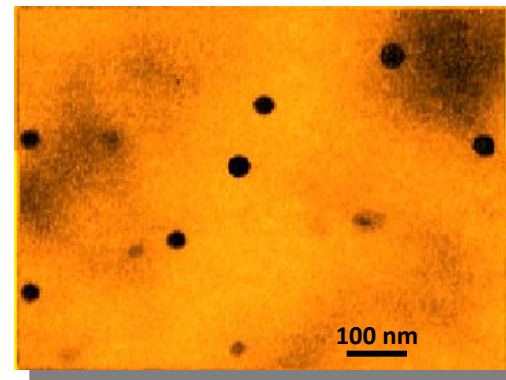
半導体ナノ結晶が分散したガラス
CdSとCdSeの固溶体
直径：3 ~ 10 nm

●金属ナノ結晶分散ガラス



ステンドグラス

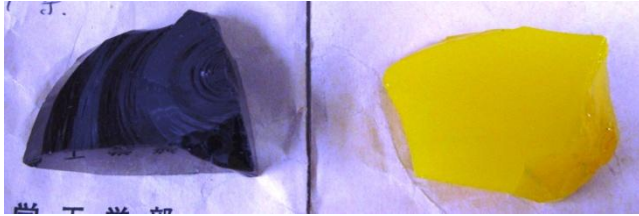
銅ナノ粒子のTEM像



研究のはじまり

●東芝色ガラスフィルター

色ガラスフィルターをつくるカレットをもらう



CdSとCdSeの混晶

熱処理の温度と時間を変えて、サイズを制御



幸村、立道

1987年9月物理学会



半導体原料を混ぜて、ガラスから自分たちでつくる

CdSe → 作製法は古くから知られていた

CuCl → ガラスの組成などを試行錯誤

山田、秋山

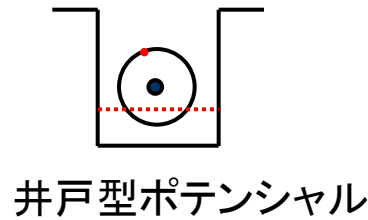
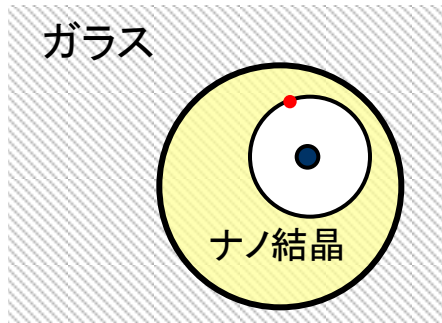
失敗作→



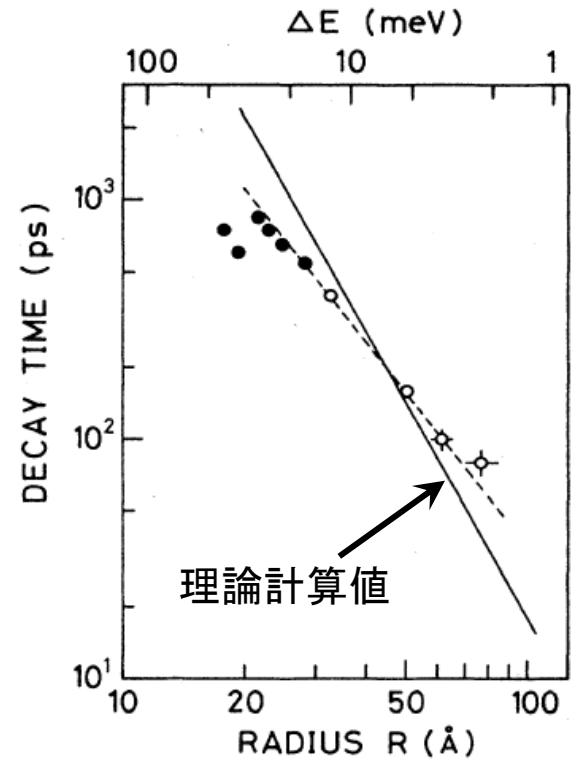
励起子の超放射

● ナノ結晶サイズに依存して励起子の輻射寿命が変化

励起子の
閉じ込め効果

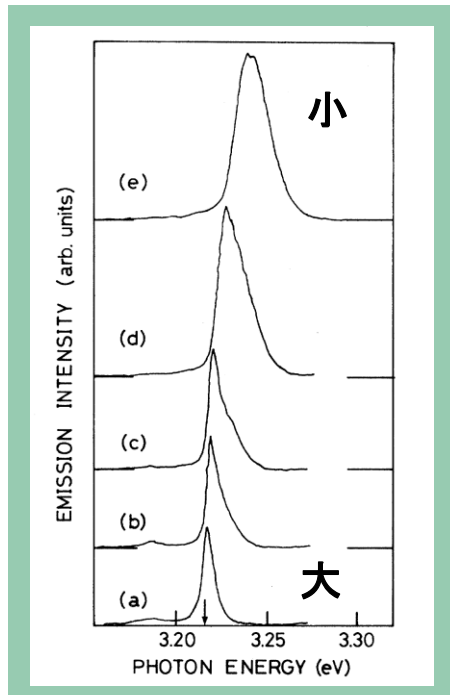


発光寿命のサイズ依存性



CuCl

発光スペクトル



バルクの結晶では、輻射寿命は一定値
ナノ結晶に特有の現象

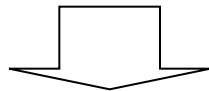
通産省の次世代プロジェクト

「非線形光電子材料の研究開発」 1989年度～1998年度

参加機関： 5国立研究所、3大学、9企業

研究開発項目：

1. 非線形光学現象の発現機構の解明
2. 素材開発
3. 材料化技術
4. 評価技術



産官学の共同研究

旭硝子、HOYA、日本板硝子、松下電器

目 標

非線形感受率 $> 10^{-7}$ esu

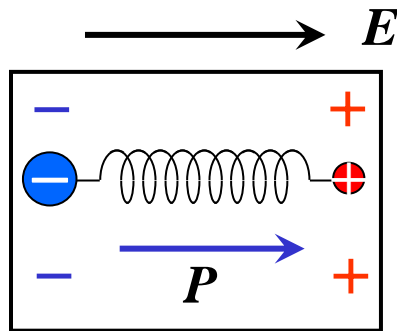
吸収係数 $< 10^2$ cm⁻¹

応答時間 < 1 ps

超微粒子、非線形光学材料研究のブーム

非線形光学効果

● 非線形光学効果



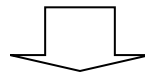
光電場による電気分極

$$P = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3$$

$\chi^{(2)}$ 、 $\chi^{(3)}$ ：非線形感受率

3次非線形特性

屈折率、吸収係数が光の強度に依存して変化する



光スイッチ、フォトニクスデバイスへの応用

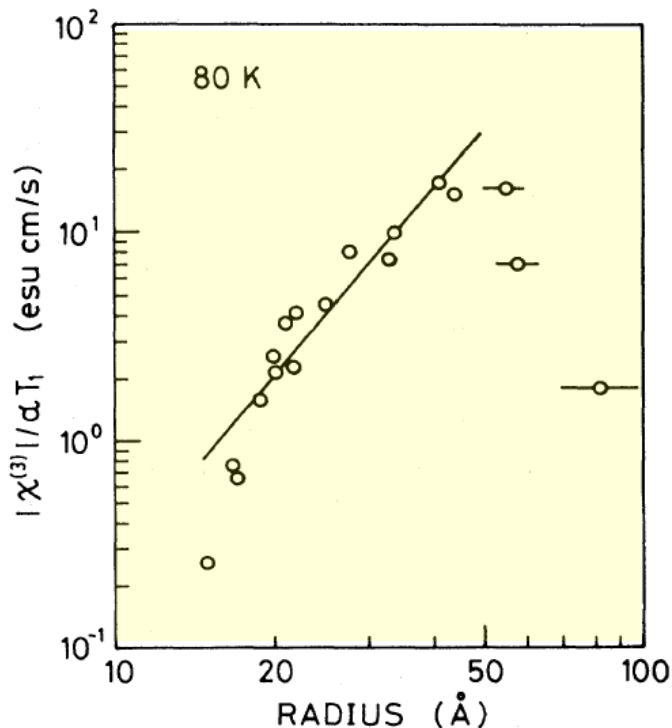
“光で光を制御する”

1989年7月号光技術コンタクトの解説論文

増大効果の発現と機構説明

・性能指数の増大

CuClナノ結晶

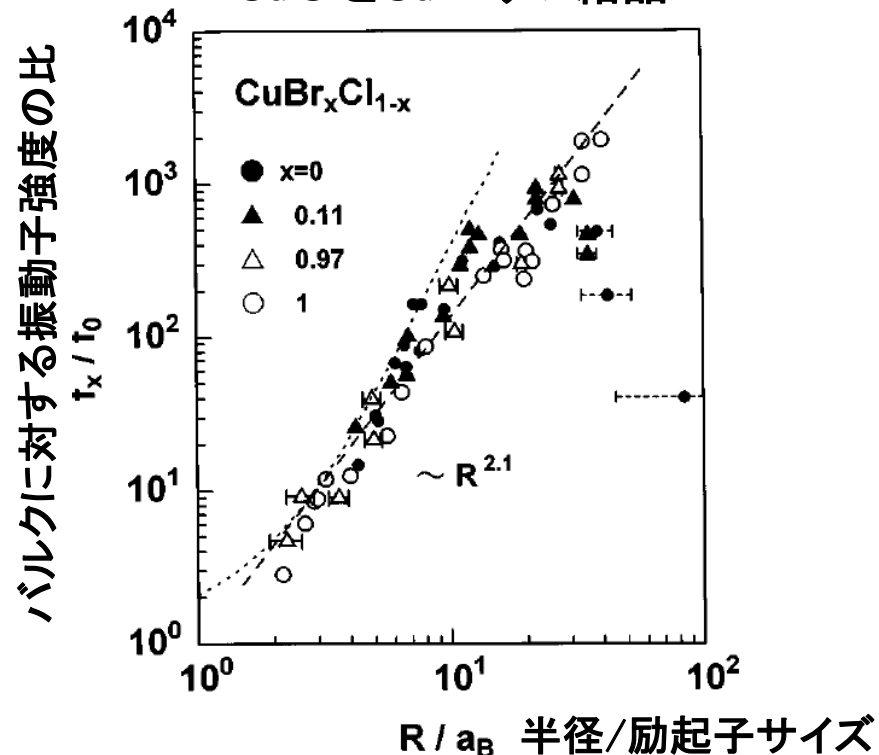


100倍の増大効果

旭硝子: 伊藤、真鍋、杉本、近藤、黒岩
片岡、時崎 *Phys. Rev. B. 1993*

・増大効果の起源

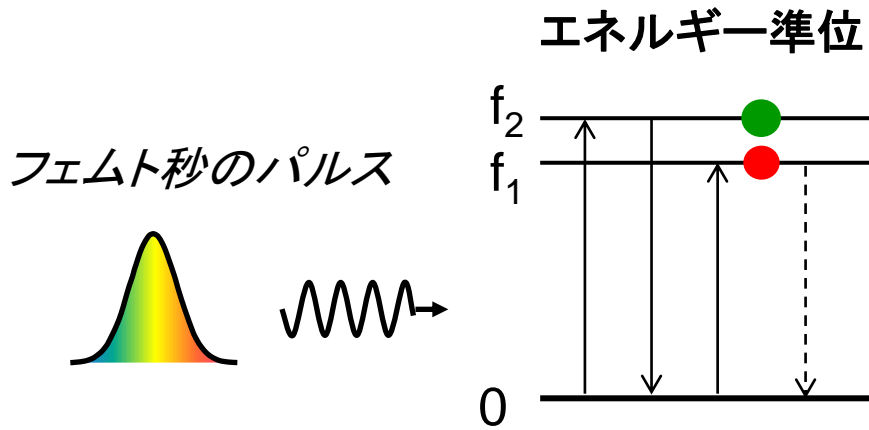
CuClとCuBrナノ結晶



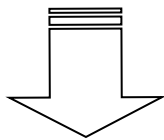
振動子強度が約1000倍に増強

李、太田、高田 *Phys. Rev. B. 1998*

量子波の干渉



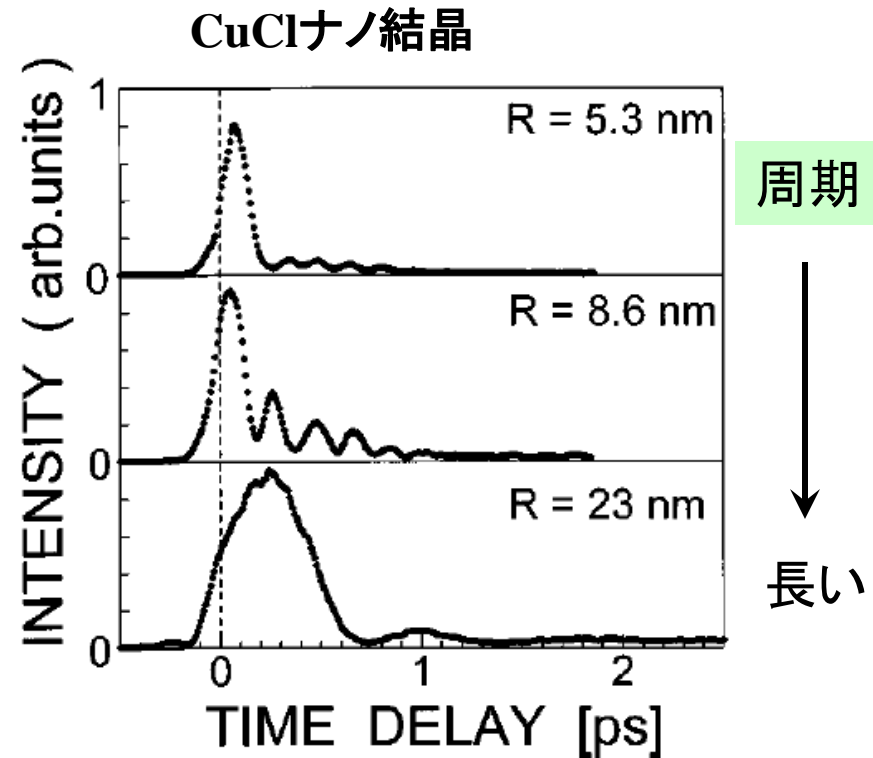
2つの状態が同時に光を吸収



光が“うなり”を誘起する

閉じ込め励起子と光学フォノンの
複合体による量子ビート

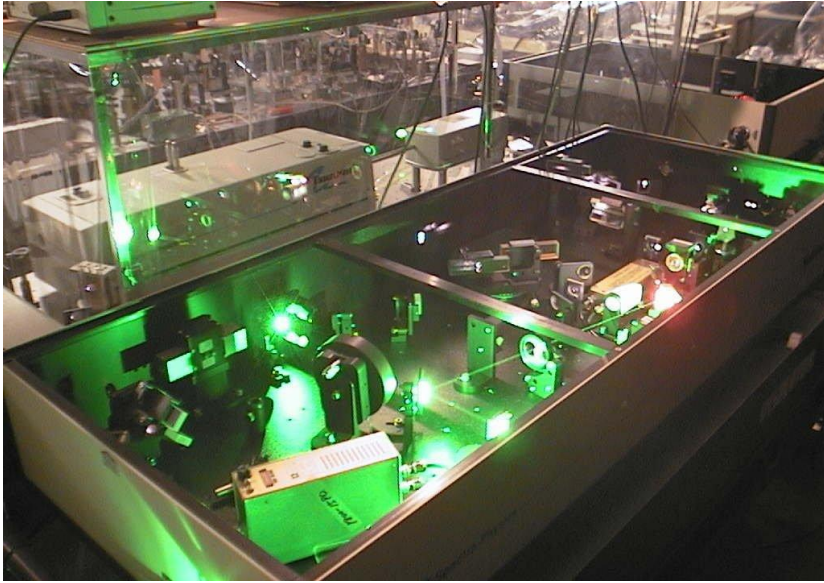
量子ビートの観測



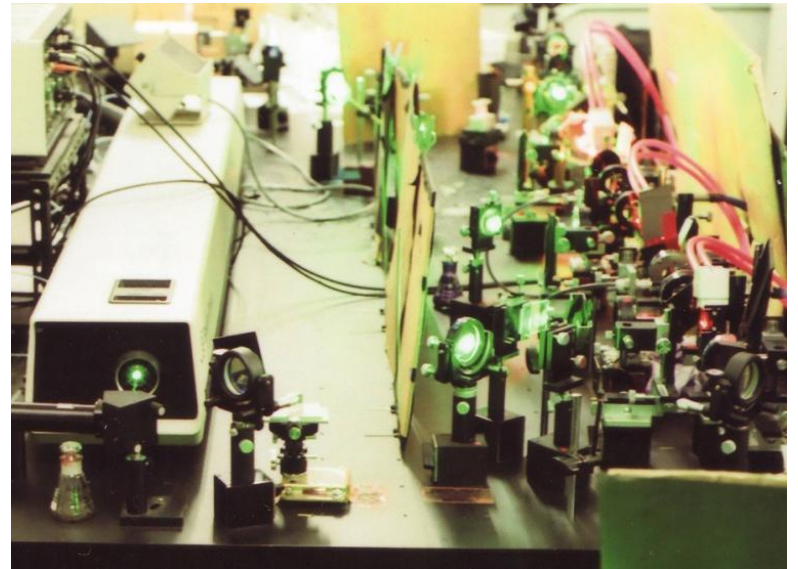
大村英樹 博士論文

Phys. Rev. B. 1999

1996年頃のレーザー



チタンサファイアレーザーアンプ



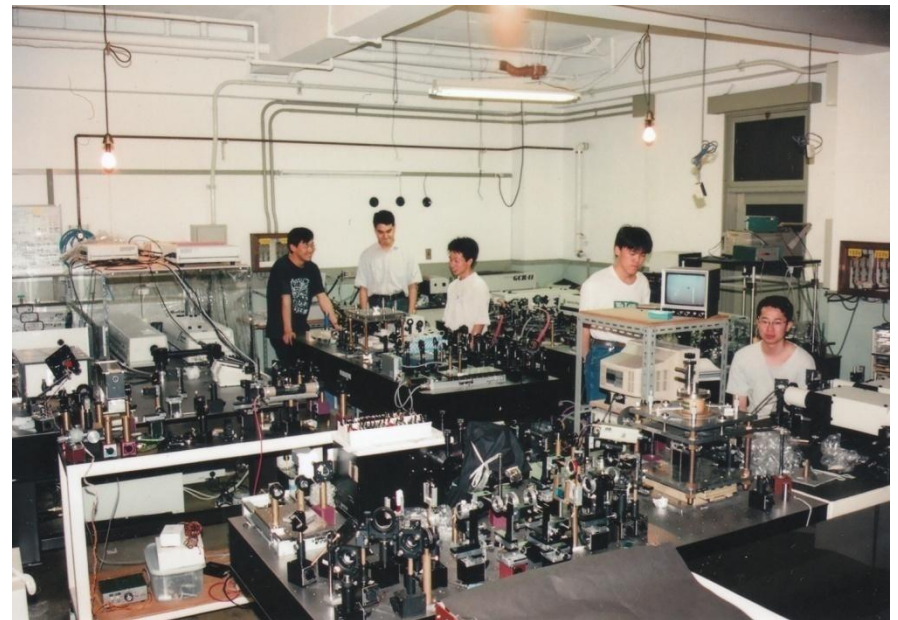
色素レーザーアンプ (1991年)

1999年頃の実験室

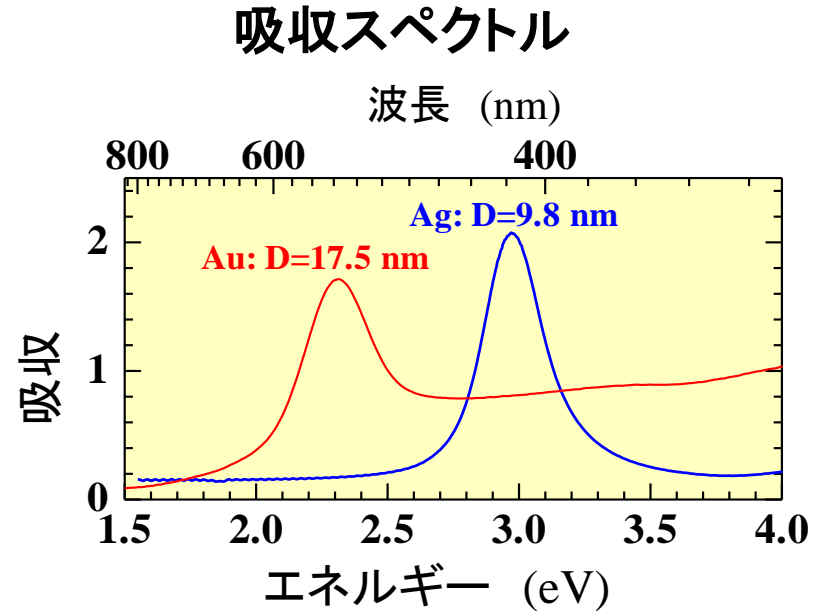
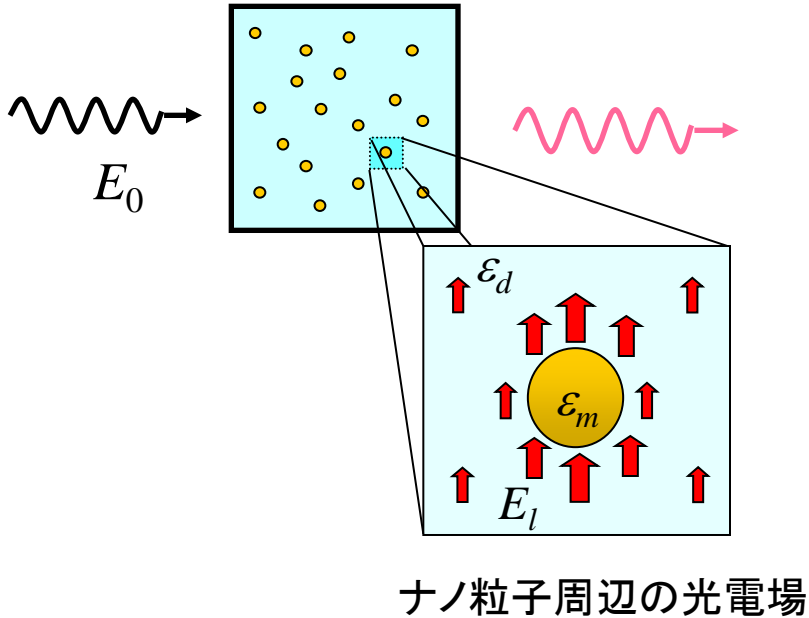


ラマン散乱・非線形評価室

フェムト秒レーザー実験室



金属ナノ粒子



金属ナノ粒子が感じる光電場

$$E_l = \frac{3\varepsilon_d(\omega)}{\varepsilon_m(\omega) + 2\varepsilon_d(\omega)} E_0$$

↑
局所電場因子 ($\varepsilon_m' < 0$)

分母が0となる周波数 ω で
光電場が増大

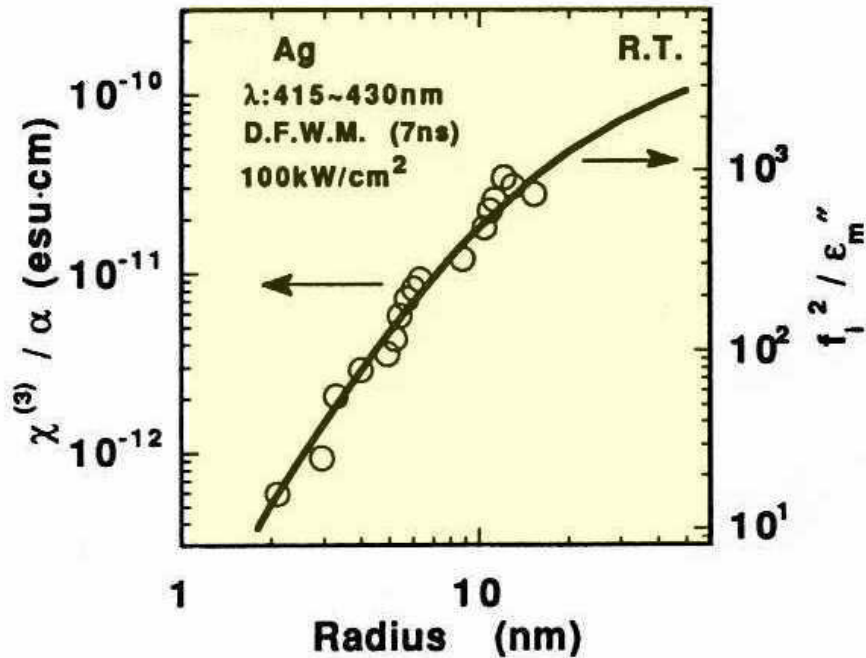
Maxwell Garnett理論 1904年

表面プラズモン共鳴

“吸収”の増大
↓
ガラスに色がつく

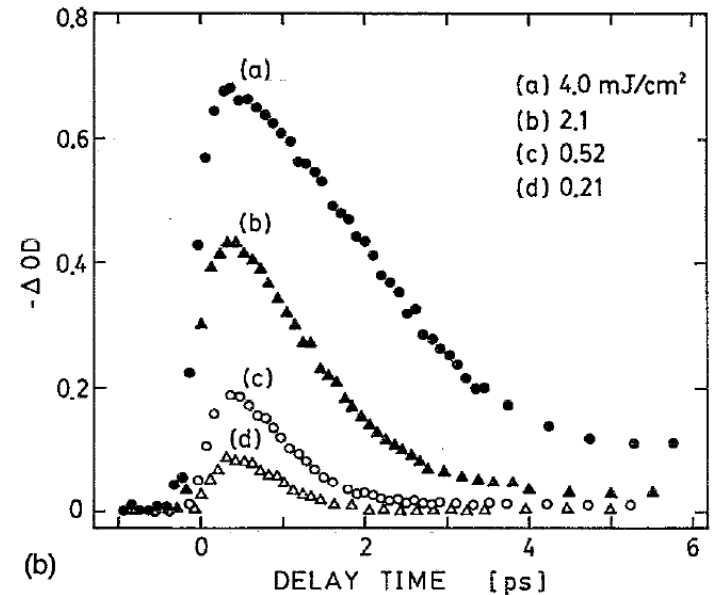
大きく、速い非線形性

非線形感受率のサイズ依存性



半径に依存して増大

応答時間



励起光強度が弱いほど、
応答時間は速い $\tau < 1\text{ ps}$

J. Opt. Soc. Am. B. 1994

HOYA; 内田、兼子、近江、畑、丹治、浅原、生島

T. Tokizaki et al., Appl. Phys. Lett. 1994

さらなる増大化

非線形感受率 $\chi^{(3)}$

$$\chi^{(3)} = p f_l^2 |f_l|^2 \chi_m^{(3)}$$

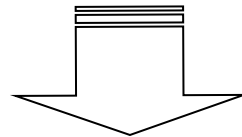
p : 体積占有率

f_l : 局所電場因子

$\chi_m^{(3)}$: **バルクの $\chi^{(3)}$**

局所電場因子の制御
形状、密度

電子状態の制御
サイズ



- ・形状: 球形から異方的形状へ
- ・密度: ナノ粒子間相互作用の利用
- ・サイズ: 量子サイズ効果の利用

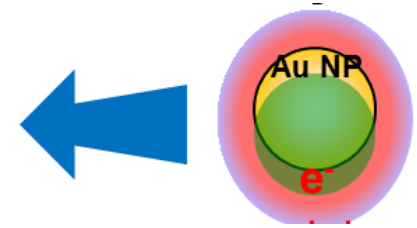
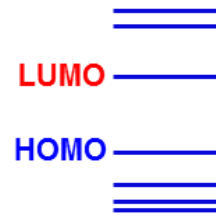
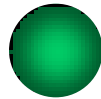
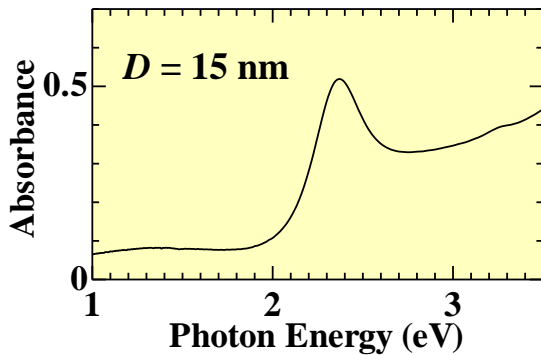
林、桑畑、濱中
C. Flytzanis, F. Vallee

福田、岡田、深川、
濱中、L. Liz-Marzan
P. Mulvaney

ナノ粒子からクラスターへ

局所電場効果から量子サイズ効果へのクロスオーバー

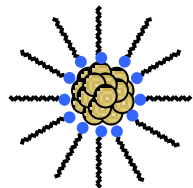
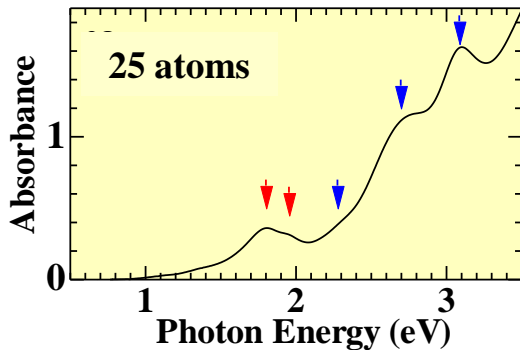
金ナノ粒子



量子サイズ効果

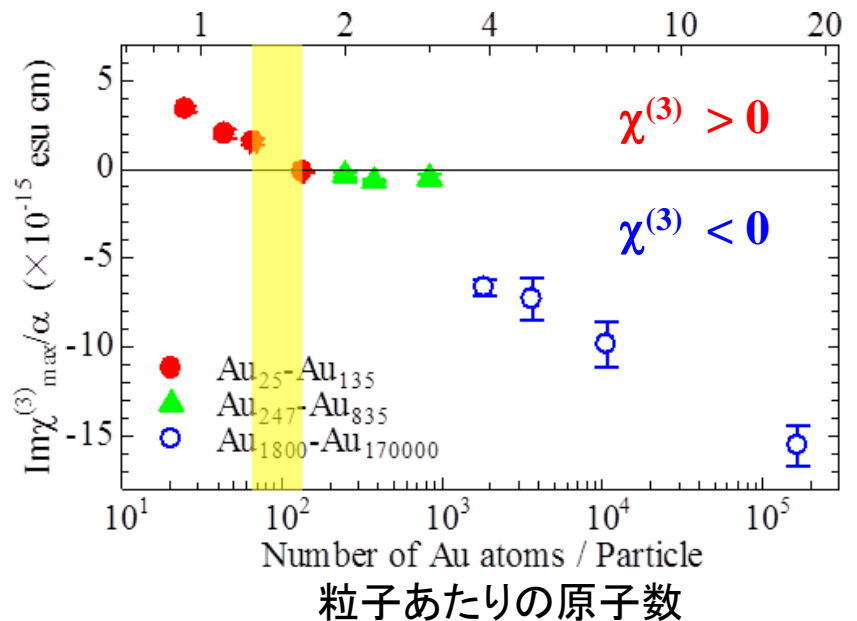
局所電場効果

25金原子クラスター



チオール修飾

非線形感受率



外国人研究者の滞在 1990年代

エコール・ポリテクニク研修生 Emmanuel Clause

1990年4月～8月

半導体ナノ結晶の励起子の
閉じ込め効果：理論と実験

ECOLE POLYTECHNIQUE - UNIVERSITE DE NAGOYA
PHYSIQUE DE LA MATIERE CONDENSEE

QUANTUM CONFINEMENT OF EXCITONS
IN SEMICONDUCTING MICROCRYSTALLITES EMBEDDED IN GLASS MATRIX
THEORY AND EXPERIMENT

Memoire de stage

Emmanuel CLAUSE

NAGOYA UNIVERSITY, Faculty of Engineering, Applied Physics Department

Directeur de stage : Arao NAKAMURA

Avec tous mes remerciements
pour l'accueil qui m'a été réservé
et toute l'aide qui m'a été apportée
εε εεεε εεε εεεεεε

1

Emmanuel Clause



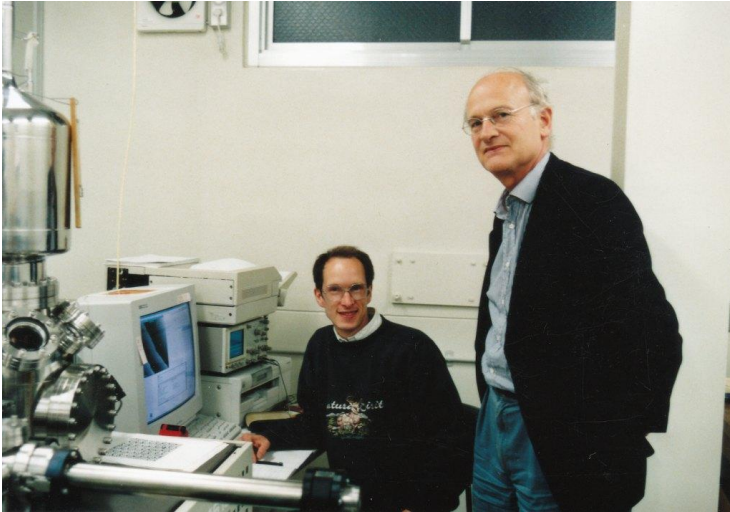
Avec tous mes remerciements
pour l'accueil qui m'a été réservé
et toute l'aide qui m'a été apportée
εε εεεε εεε εεεεεε

1

Emmanuel Clause

外国人研究者の滞在 1990年代

経費： VBL、学術振興会、科研費「国際共同研究」



L. Bolotov (露) C. Flytzanis (仏)



A. N. Titkov (露) Ki-Soo Lim (韓国)



C. Hermann
エコール・ポリテクニク
最初の女性教授

「EU女性と科学委員会」のフランス代表

A. Toropov (露)
F. Vallee (仏)

Hermann教授のセミナー

「ヨーロッパの女性と科学」

1998年12月2日に開催

参加者:

郷 通子教授

(理学部 → お茶の水女子大学長)

坂東昌子教授


(愛知大学 → 日本物理学会会長)

フランスの女性研究者の歴史 →



D'après le diapo d'Hermann

Sophie GERMAIN 1776-1831
French mathematician, friend of J. Fourier and K.F. Gauss



famous for her works on mathematical physics and the theory of elasticity

Sophie Germain's theorem:
if $x^5 + y^5 + z^5 = 0$, then one of the (>0 or <0) integers x, y, z is divisible by 5.

十 / 構造をつくる・みる研究

1996年～現在

共同研究 竹田美和 教授 (結晶材料工学専攻)

十ノ構造をつくる・みる

●理工総研 特別設備費 (1996年)

「ナノスケール光記録材料作製・評価システム」

走査トンネル顕微鏡 (STM)、近接場光学顕微鏡 (SNOM)

●2000年1月 クリントン大統領によるNNIの提唱

●科学技術振興機構 戦略的基礎研究 CREST (1999年～2005年)

「ナノサイズ構造制御金属・半金属材料の超高速光機能」

結晶材料工学専攻

応用物理学専攻

名古屋工業技術研究所(産総研)

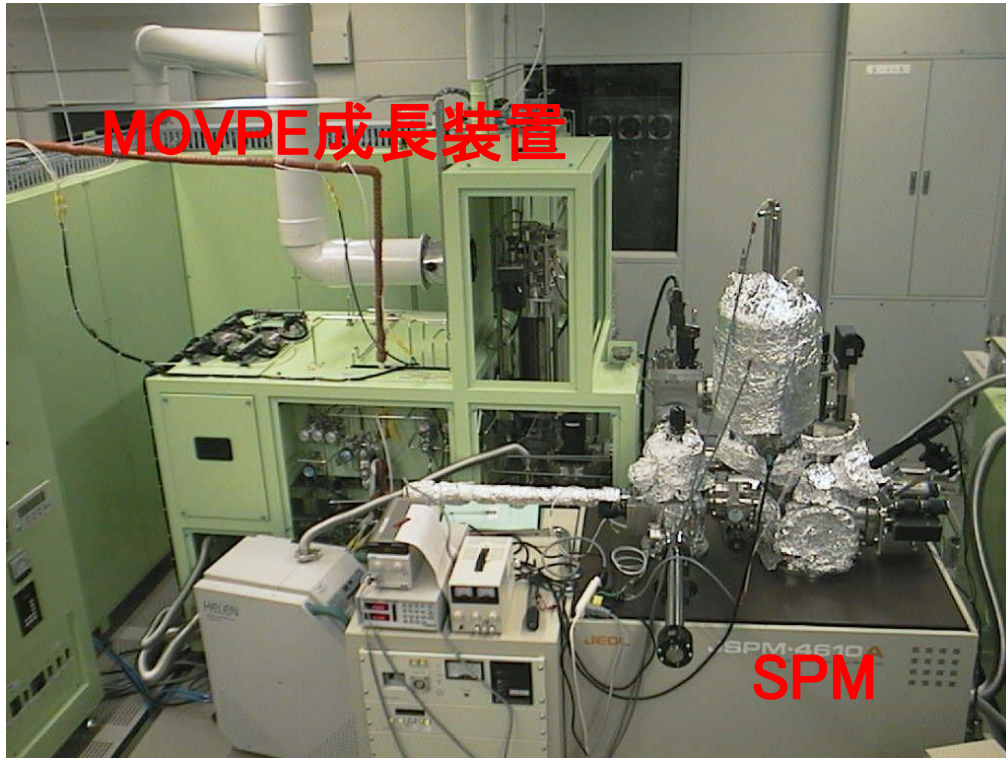
竹田美和 教授 → **ヘテロ構造の成長**

井上順一郎 教授 → **理論**

村上純一 氏、多井 豊 氏 → **金属クラスター**

半導体成長装置とSPM

VBLクリーンルーム



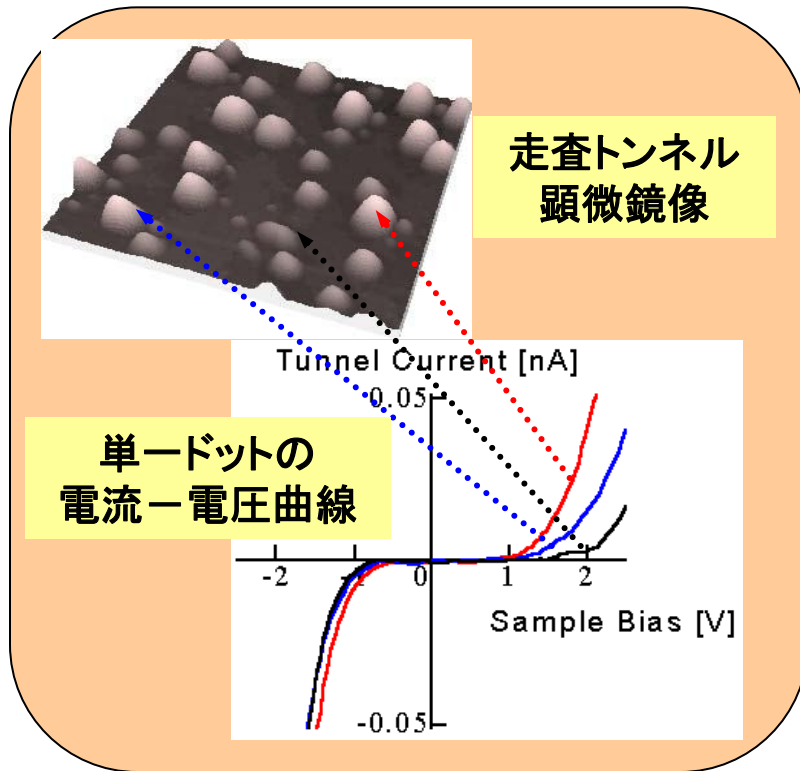
竹田研 ↑

中村研 ↓

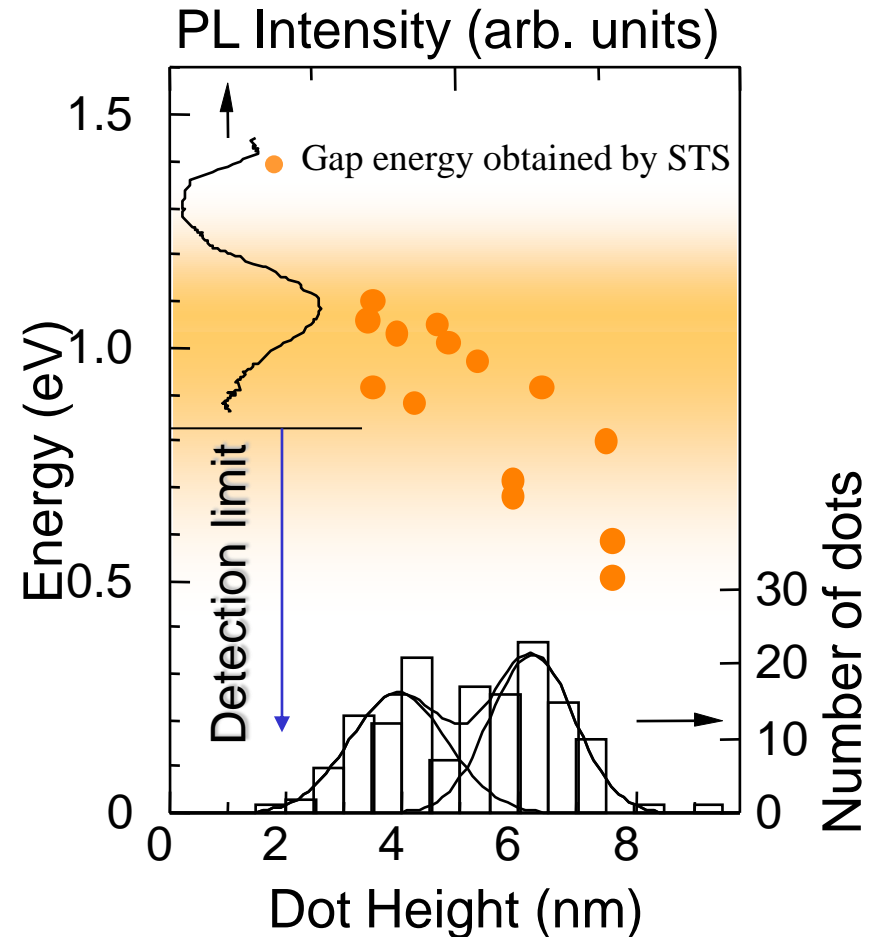


ナノ構造に対応した物性

InAs量子ドット

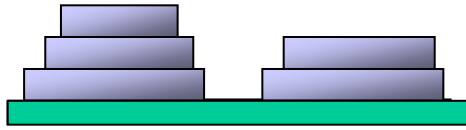


バンドギャップのサイズ依存性

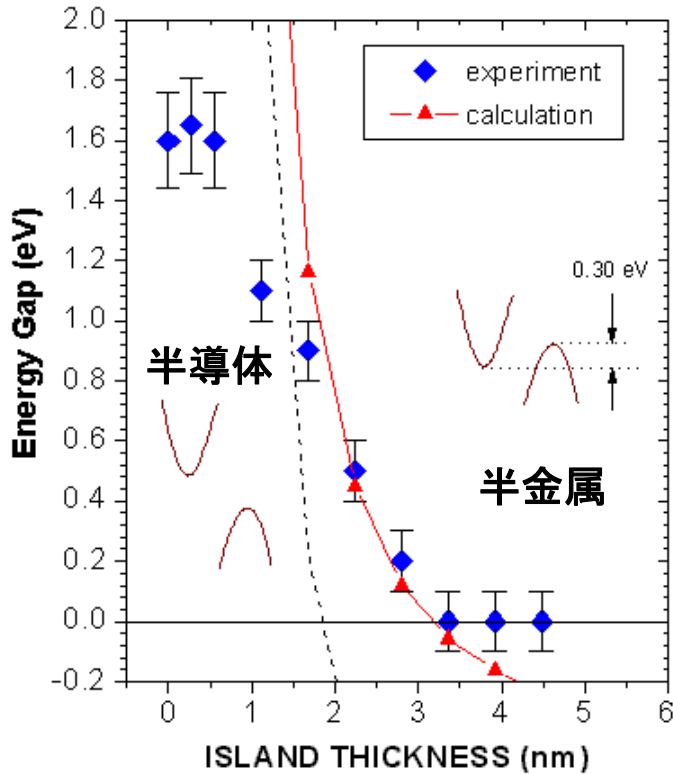


個々のナノ構造の電子状態を知る

半金属の量子サイズ効果



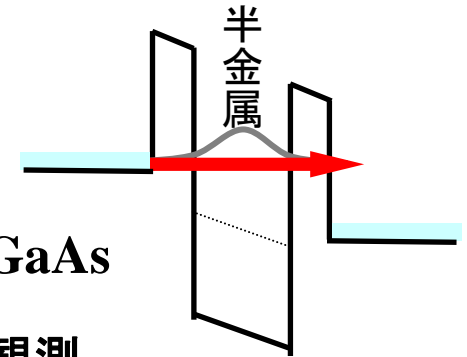
InP基板上のErP量子ディスク



Phys. Rev. B. 1999

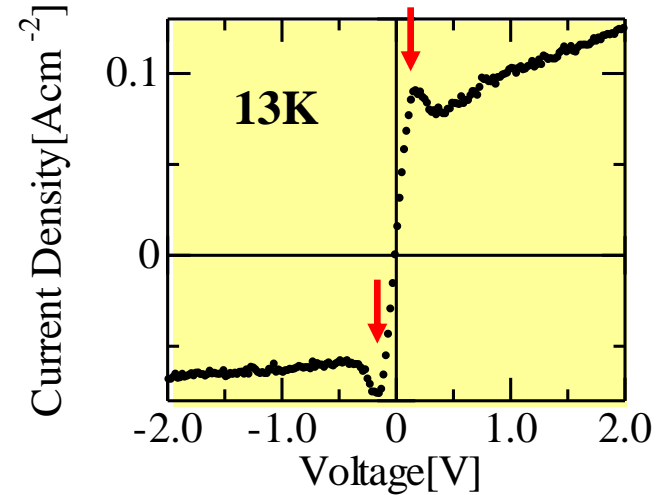
L. Bolotov、土谷、伊藤、藤原、竹田

共鳴トンネルダイオードの作製



ErAs/AlAs/GaAs

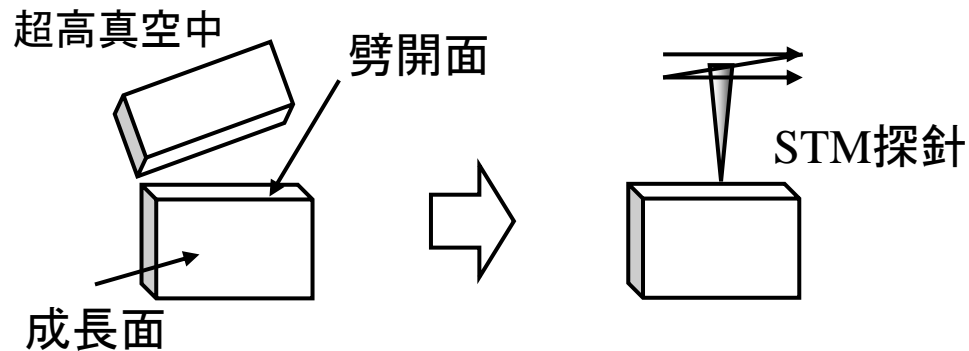
負性微分抵抗の観測



竹田研; 神野、平田、森、安達、藤原

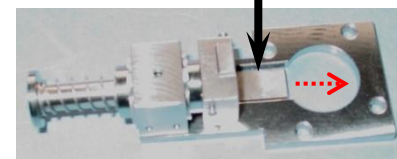
山内、日合、塩沢、井上、村上、島田、人見、坂田

ヘテロ界面のSTM観察



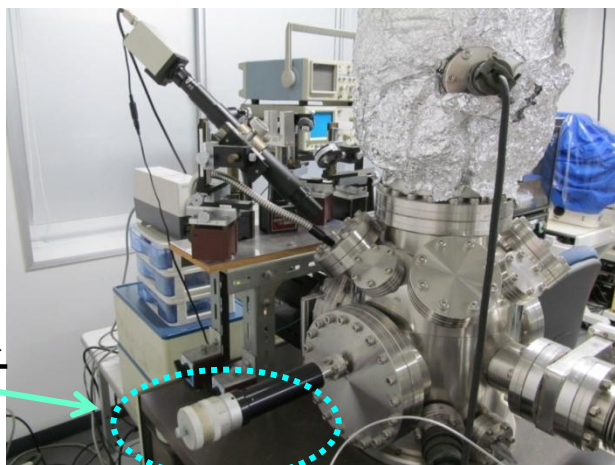
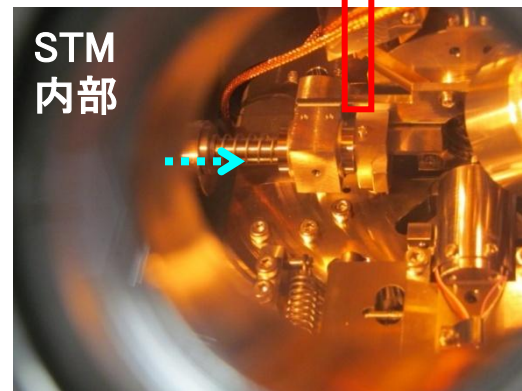
劈開面を観察

結晶を押し



超高真空中で結晶を劈開する

装置開発技術系

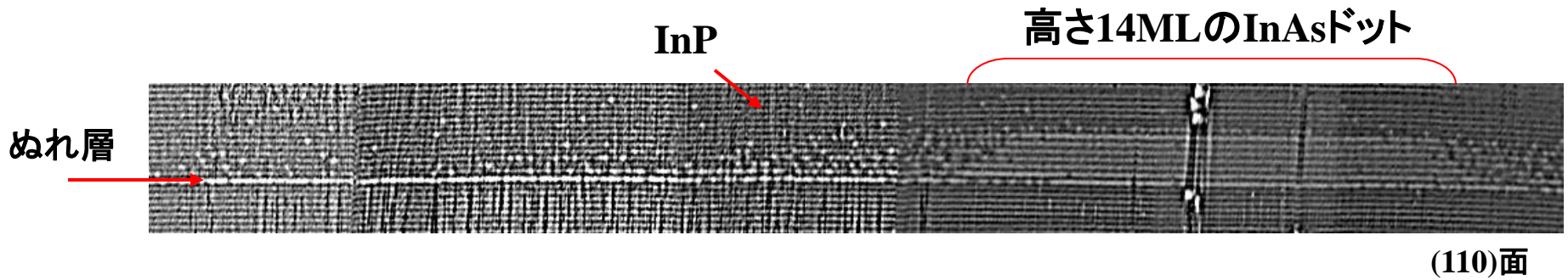


直線導入端子

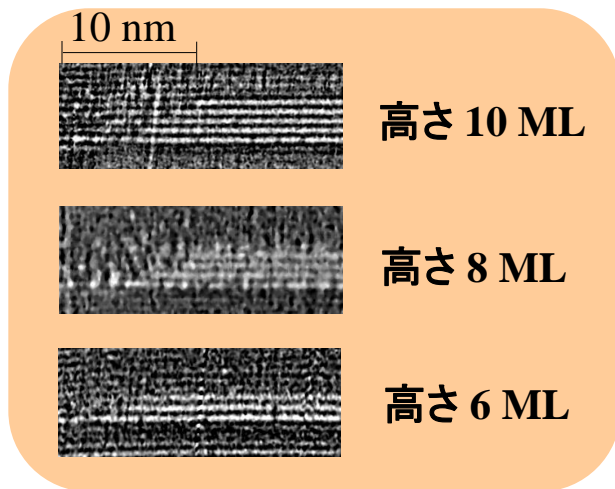
●InGaAs/InP量子井戸の断面観察

山川、赤沼、叶、西浦、大賀、藤原、竹田

量子ドットの断面構造

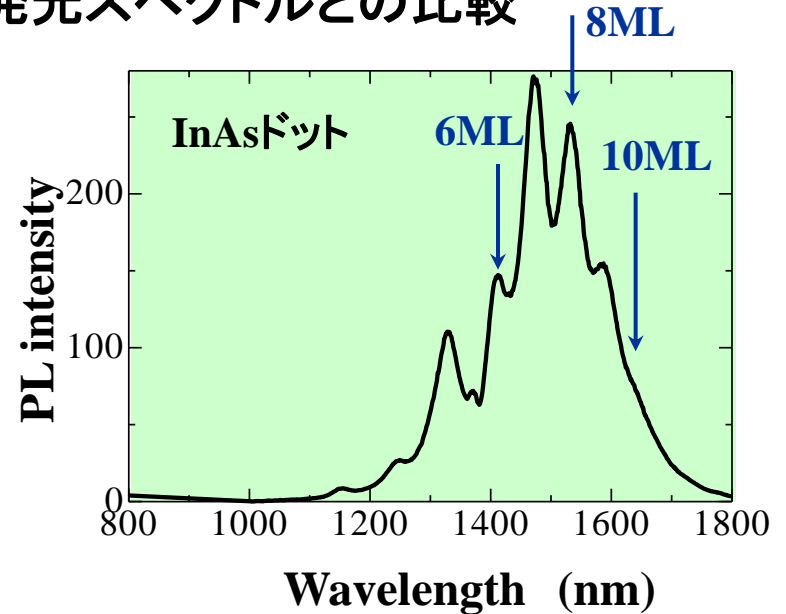


高さの異なる量子ドット



2 ML=0.61 nm

発光スペクトルとの比較



ダブルキャップ法成長によってML単位で高さを制御

フラーレンとナノチューブ

カーボンのナノ構造

1992年～現在

共同研究

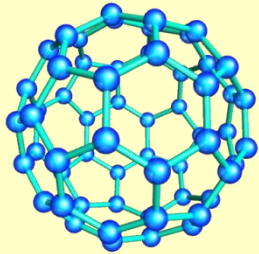
齋藤弥八 教授 (三重大→名古屋大学)

篠原久典 教授 (理学研究科)

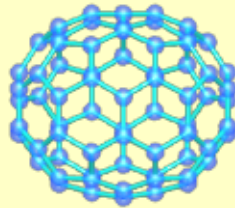
フラーレンとナノチューブ

●フラーレン

炭素



C_{60}

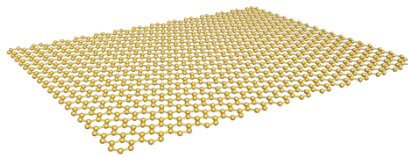


C_{70}

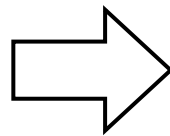
六員環と五員環の組み合わせ

オイラーの定理に従って
多面体を構成

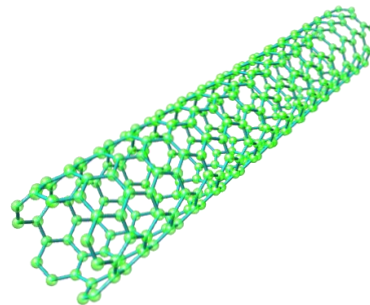
●カーボンナノチューブ



グラフェン



丸める



丸め方によって、
半導体か金属になる

(カイラル角)

自然の事実 + 数学の美 = 物理のエレガンス

フラーレンの光学応答

●C₆₀、C₇₀の緩和過程

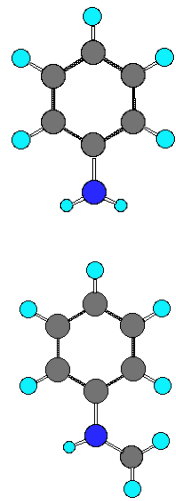
川崎、矢島、田中、岩井、市田、齋藤、篠原

●C₆₀、C₇₀結晶の光重合反応

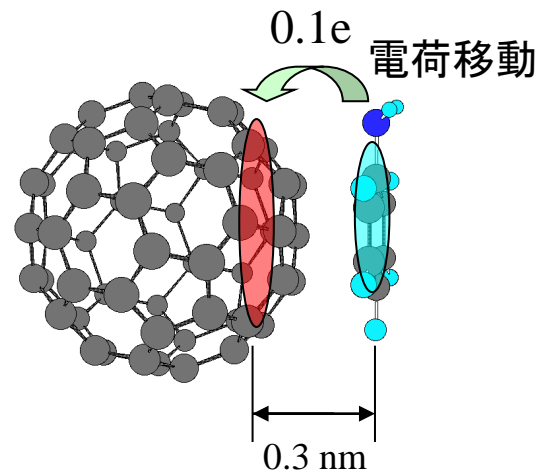
酒井正俊 博士論文、今岡、市田

●C₆₀誘導体の非線形光学効果

芳香族アミン



etc



$$\gamma_{C_{60}} = 7.0 \times 10^{-30} \text{ esu}$$

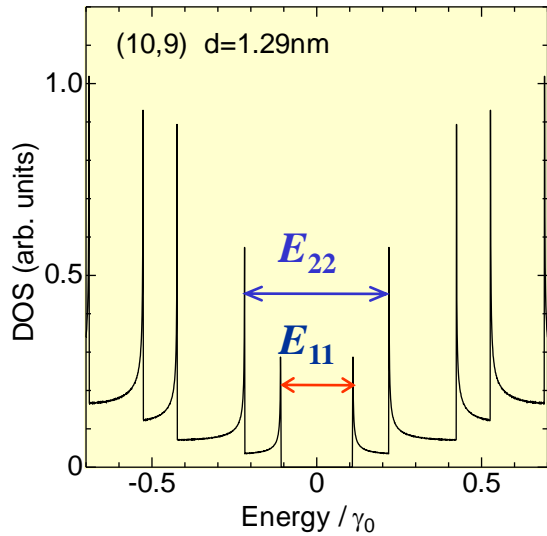
約70倍増大

$$\gamma_{C_{60}/ANICT} = 5.2 \times 10^{-28} \text{ esu}$$

非線形感受率の増大は
振動子強度の増大に起因

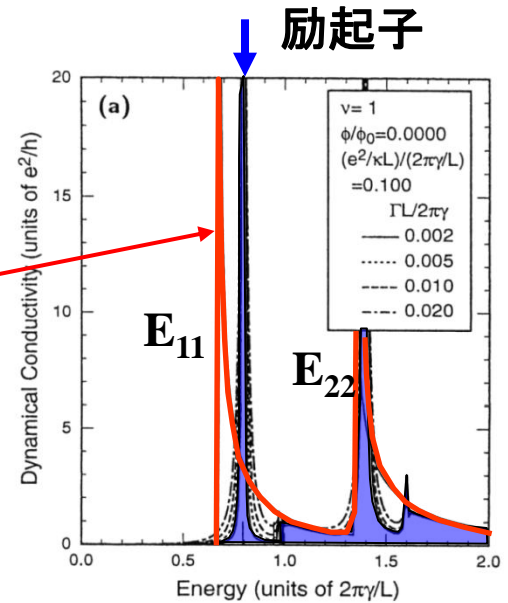
ナノチューブの励起子

●一次元系の状態密度



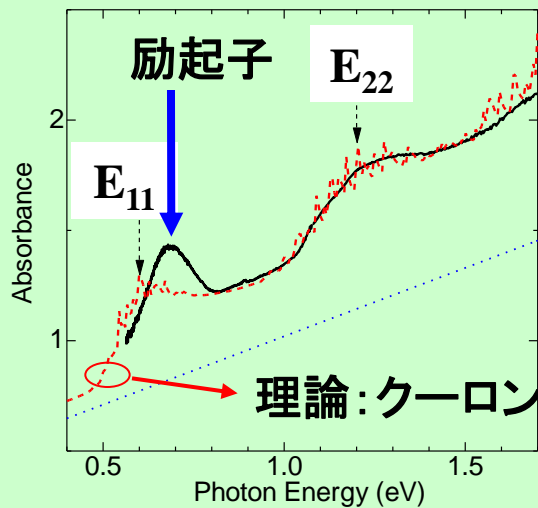
理論

バンド間吸収



T. Ando, *J. Phys. Soc. Jpn.* 1997

実験



励起子効果 \propto (直径) $^{-1.3}$

理論との比較から励起子効果の存在を示す

市田、水野、谷、齋藤、片浦、阿知波

J. Phys. Soc. Jpn. 1999, *Phys. Rev. B.* 2002

最近の7年間

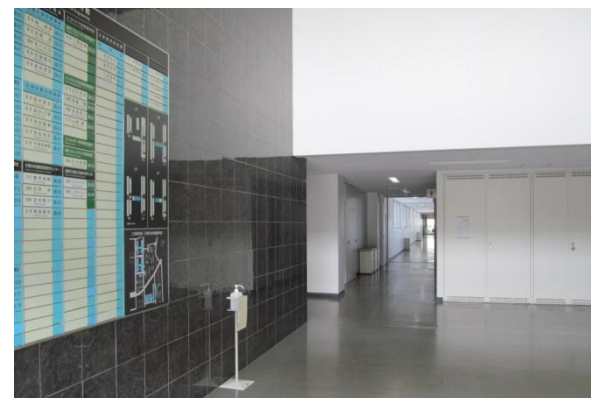
●スタッフの異動

- ・2005年10月～ 岸田英夫 准教授→ 電場変調分光
カーボンナノチューブ、共役高分子、有機系強相関物質
- ・2007年 5月～ 鵜沼毅也 助教→ テラヘルツ分光
共役高分子、量子井戸半導体
- ・2008年 4月～ 小山剛史 助教→ フェムト秒発光分光
カーボンナノチューブ

●3号館の改修工事

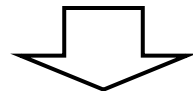
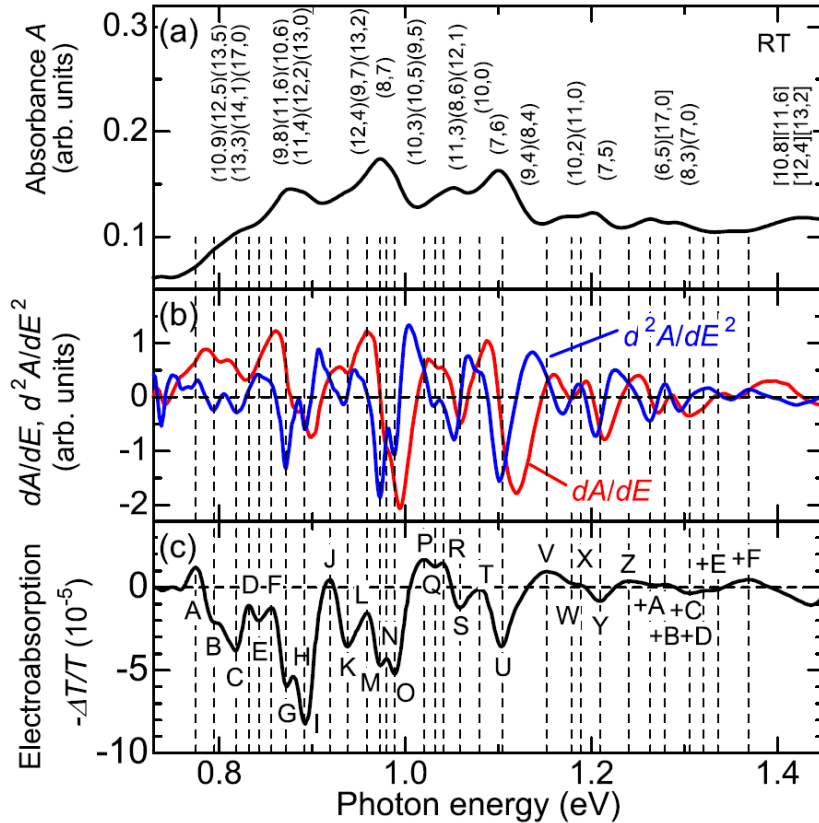
2008年～ 居住環境の改善

3号館エントランス



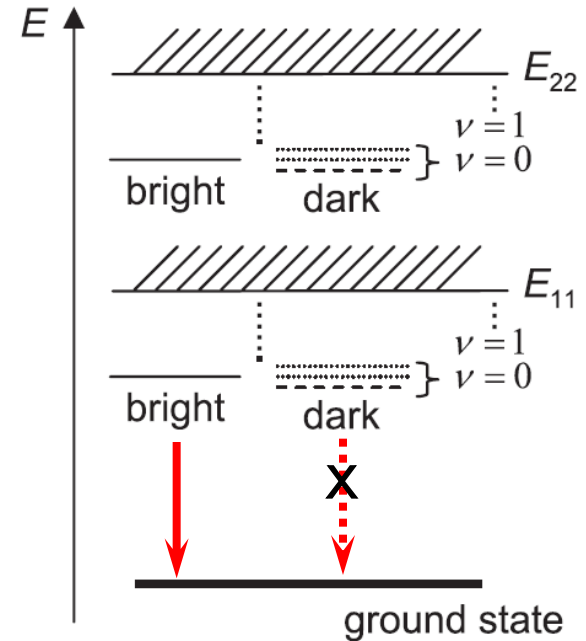
ナノチューブの“暗”励起子

電場変調吸収スペクトル



許容遷移、禁制遷移を区別

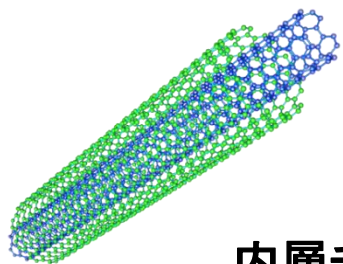
励起子エネルギー図



交流電場下で
暗励起子を観測

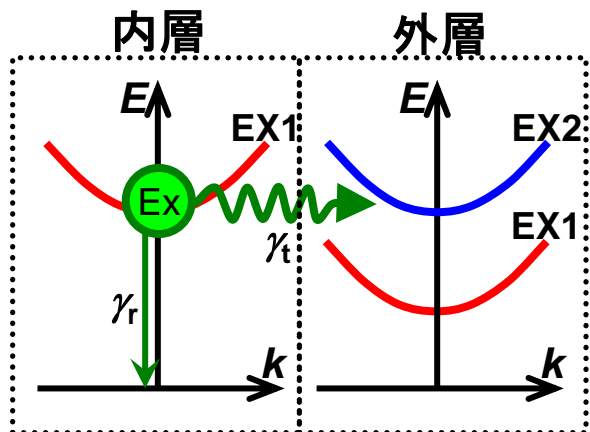
フェムト秒の発光ダイナミクス

~50 fsで発光を見る

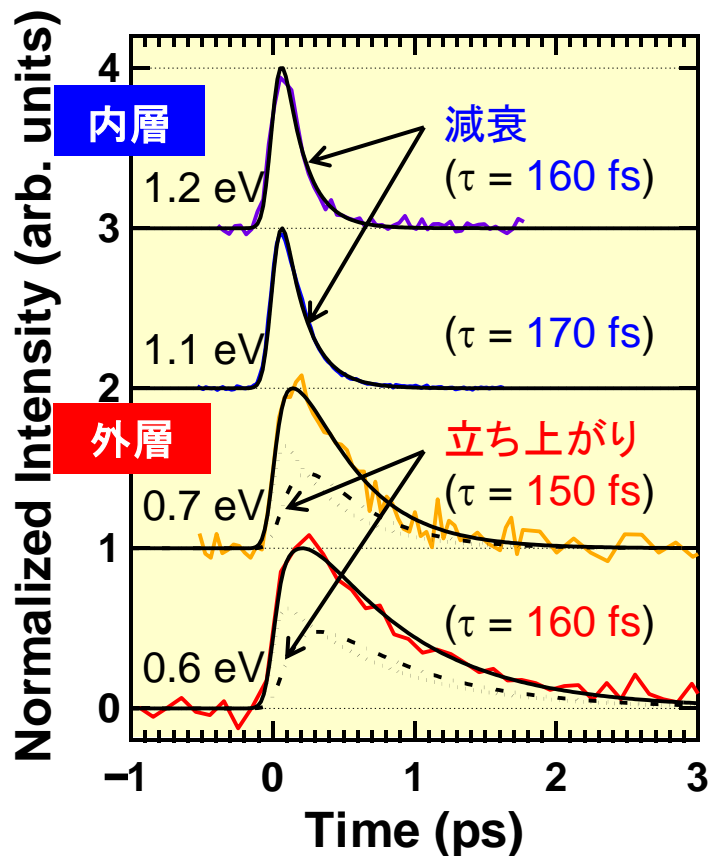


二層ナノチューブ

内層チューブは光るのか？



発光ダイナミクス



ナノチューブ間で励起子がエネルギー移動する

その他の研究

○Ⅲ-V属半導体量子井戸の研究

山本、川本、足立、水谷、北川、時崎、西脇、田名瀬、濱中、高田、鵜沼

○Ⅱ-VI属半導体量子井戸の緩和過程の研究

酒井、古賀野、時崎、松下電器:真鍋、林、三露

○希薄磁性半導体の研究

堀、加藤、繁永、今岡、産総研:秋本

○色素J会合体の研究

倉沢、川崎、水谷、近藤、奥山、濱中、黒田(応物)

○共役高分子の光学応答の研究

近藤、日比野、内田、藤井、鵜沼、前田、岸田

○強相関係有機導体の研究

伊藤、伊藤、白濱、中村、岸田

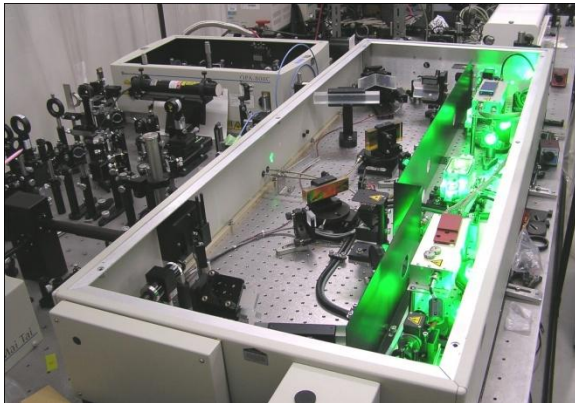
研究のまとめ

研究室紹介のキャッチフレーズ

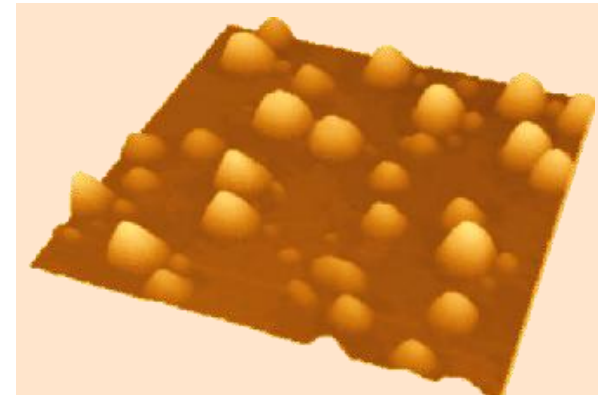
光で観る物性、光で制御する物性
-物性の理解と応用を目指して-

原子配列やナノスケール構造が制御された物質・材料の量子現象と光物性

より速く(フェムト秒)、より小さく(ナノメートル)



研究の手法



**大学のマネジメントに
携わって**

全学技術センター

1999年度～ 応物工作室幹事

2005年度～ 研究・教育支援担当 総長補佐

2006年度～ 技術部長

2004年度： 全学技術センターの設置・試行

2009年度： 全学技術センターの改組・本格実施

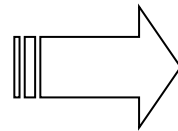
166名の技術職員の組織

教育と研究を専門的な技術で支援

技術支援の役割

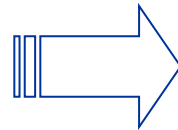
- ・独創的研究は高度な技術の上に生まれる.
- ・高度な教育には技術的な支援が必要である.
- ・環境と安全・衛生は教育・研究の基盤である.
- ・情報通信技術は教育・研究や「仕事」を高度化する.

個別の技術支援



支援技術の共有化

組織の改革



意識の改革

技術力、運営における一層の充実と発展を願っています。

そろそろ・・・

エピソード

ブラッグの戒律

F. J. ダイソン (量子電磁力学、ダイソン方程式)

「物理学の将来」 自然、1971年2月号 (*Physics Today* 1970)

W. L. ブラッグ (X線回折、ブラッグの公式)

ケンブリッジ大学 キャベンディッシュ研究所長

1. 過去の栄光の復活を試みることなかれ

Don't try to receive past glories.

2. 流行中というだけの理由で研究することなかれ

Don't do things just because they are fashionable.

3. 理論屋の軽侮を恐るることなかれ

Don't be afraid of scorn of theoreticians.

職業としての学問

マックス・ウェーバー (1864年～1920年)

社会科学論、宗教社会学、経済史

学問のばあいでは、自分の仕事が十年たち、二十年たち、また五十年たつうちには、いつか時代遅れになるであろうことは、だれでも知っている。・・・ 学問上の「達成」はつねに新しい「問題提起」を意味する。それは他の仕事によって「打ち破られ」、時代遅れとなることをみずから欲するのである。学問に生きるものはこのことに甘んじなければならぬ。・・・

われわれ学問に生きるものは、後代の人々がわれわれよりも高い段階に到達することを期待しないでは仕事をすることができない。・・・

マックス・ウェーバー著、尾高邦雄訳、岩波書店「職業としての学問」より

終わるにあたって

謝 辞

- **東京大学物性研究所**

森垣和夫 先生

塩谷繁雄 先生

矢島達夫 先生

- **エコール・ポリテクニク**

Prof. Ionel Solomon

Prof. Georges Lampel

Prof. Claudine Hermann

Prof. Claude Weisbuch

- **東北大学工学部**

平井正光 先生

近藤泰洋 先生

謝 辞

- 名古屋大学
- 工学研究科
- 応用物理学教室
- 応物第2講座（近 璋三 先生、加古 銓 氏）
- 旧理工科学総合研究センター
- 結晶材料工学専攻
- 全学技術センター
- 共同研究者のみなさま

研究室のスタッフ

● 助教授・准教授、助手・助教

敬称略

- ・時崎高志 (産業技術総合研究所)
- ・市田正夫 (甲南大学)
- ・濱中 泰 (名古屋工業大学)
- ・守友 浩 (筑波大学)
- ・山川市朗 (日立製作所)
- ・岸田英夫 准教授
- ・鵜沼毅也 助教
- ・小山剛史 助教

過去のスタッフ



● ポスドク

L. Bolotov、艾 希成、酒井正俊、劉 曉峻、茜 俊光、
徐 勝、山内武志、小泉 淳、陳 仕謀、吳 大建

● 秘書 星野洋子、山田(瀬尾)さとみ、木村 薫

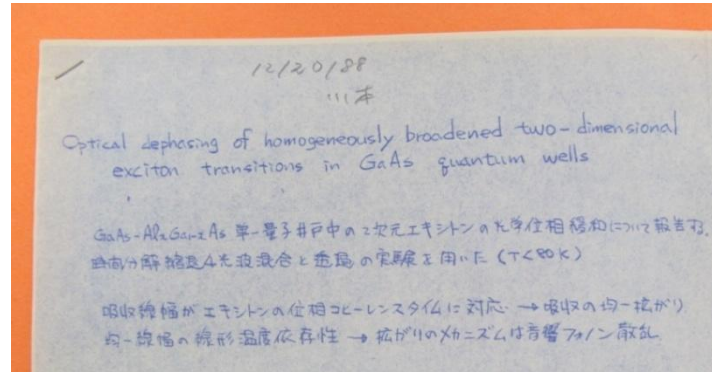
学生の皆さん

論文紹介ゼミのレジメ

148名



1982年～1986年～現在
学んだことの蓄積



←1988年
青焼きコピー

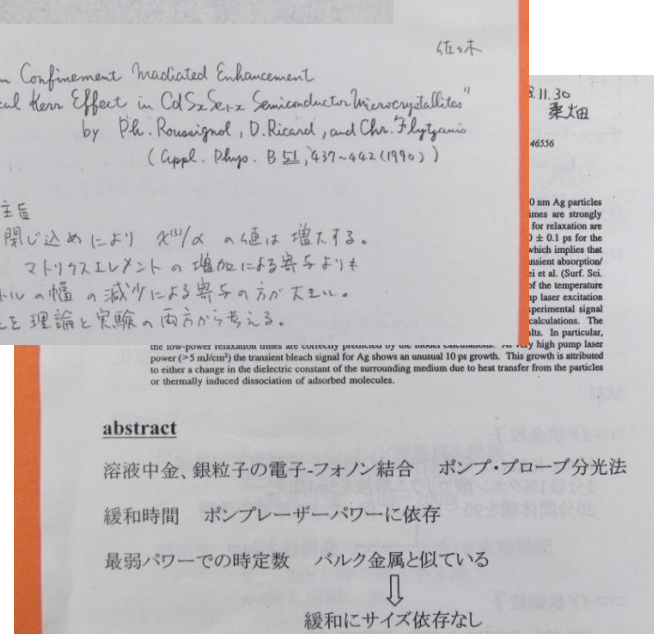
論文紹介

"Quantum Confinement Mediated Enhancement of Optical Kerr Effect in CdS_xSe_{1-x} Semiconductor Microcrystallites"
by Ph. Roussignol, D. Ricard, and Chr. Flytzanis
(Appl. Phys. B 51, 437-442 (1990))

この論文の主旨

量子閉じ込めにより $\chi^{(3)}$ の値は増大する。
それは、マトリクスエレメントの増加による共鳴より、
スペクトル幅の減少による共鳴の方が大きい。
そのことと理論と実験の両方が考えられる。

1992年 ↑
手書きOHP



1998年 →
ワープロOHP

博士課程の修了

- ・岩井伸一郎 (東北大学理学研究科)
- ・松田一成 (京都大学エネルギー理工学研究所)
- ・李 穎力 (デンソーITソリューション)
- ・大村英樹 (産業技術総合研究所)
- ・酒井正俊 (千葉大学工学研究科)
- ・劉 曉峻 (南京大学物理学系)
- ・穂本卓三 (特許事務所)
- ・町田晃彦 (高輝度光科学研究センター)
- ・山川市朗 (日立製作所生産技術研究所)
- ・徐 勝 (青島大学)

[論文博士: 高谷雅昭 (NTT)]

研究室の学生

昭和61年度(1987年3月)

安藤 浩、伊木 保雄、中村 俊博、中条 幸久、山田 知史、山本 幸宏

昭和62年度(1988年3月)

上田 邦夫、幸村 圭一、中林 正明

昭和63年度(1989年3月)

立道 英俊、足立 浩、伊藤 麻生

平成元年度(1990年3月)

河合 敦、川本 直紀、竹下 賢司、永尾 宣正、山田 浩司、新井 悟
東馬 英治、水谷 光宏

平成 2年度(1991年3月)

秋山 洋、畑中 一馬、小川 亜斗武

研究室の学生

平成 3年度(1992年3月)

片岡 拓実、北川 秀行、高谷 雅昭

平成 4年度(1993年3月)

富部 俊広、永宮 清美

平成 5年度(1994年3月)

鵜飼 智雄、川崎 慎介、酒井 博、曾田 伸子、山華 義博

平成 6年度(1995年3月)

古賀野 源太郎、佐々木 聡

平成 7年度(1996年3月)

太田 学、早川 和仁、守屋 智啓、矢嶋 孝義、神谷洋三

平成 8年度(1997年3月)

大原 盛輝、金高 敏康、東 賢二、向井 孝雄

研究室の学生

平成 9年度(1998年3月)

新堀 真史、相田 孝光、丸山 陽介、龍竹 史朗、若杉 信嘉

平成10年度(1999年3月)

粥川 嘉崇、田中 智、西脇 大介、林 信宏、伊藤 元就

平成11年度(2000年3月)

桑畑 順也、竹尾 一成、土谷 孝弘、松葉 康、山本 龍之介

平成12年度(2001年3月)

今岡 雅之、倉沢 隼人、西脇 英樹、水野 秀平

平成13年度(2002年3月)

縣 伸一、大山 泰明、川崎 修、楠屋 宏行、田名瀬 勝也、堀 伸行
野々部 利彦、藪 洋彰、木村 誠人

平成14年度(2003年3月)

栗城 彰、塩沢 学、嶋本 直之、日合 大輔、福田 和宏、吉井 健晴

研究室の学生

平成15年度(2004年3月)

岡田 紀行、加藤 菜摘、島田 里美、立石 純一郎

平成16年度(2005年3月)

石川 治雄、井上 智博、神谷 正治、人見 伸也、富川 貴子
水谷 友紀、渡辺 美樹

平成17年度(2006年3月)

赤沼 泰彦、坂田 賢治、深川 鋼司、別府 賢二、村上 和也
山内 友喜

平成18年度(2007年3月)

今岡 典子、今村 禎允、奥山 直樹、近藤 義実、繁永 伸明、村上 一臣

平成19年度(2008年3月)

磯田 佳範、伊藤 貴文、叶 保明、高橋 佳久、武田 侑希、前田 章亘
彦坂 直輝

研究室の学生

平成20年度(2009年3月)

大竹 峻、長澤 嘉明、日比野 健一、平林 裕貴、細岡 大介

平成21年度(2010年3月)

伊丹 拓、近藤 明裕、高田 宗一郎、谷川 将司、藤井 健司、近藤 義実

平成22年度(2011年3月)

伊藤 敦哉、内田 智也、加茂 考史、西浦 倫史、恒川 拓也、前田 大輔
吉川 宗樹

平成23年度 現在

近藤 明裕、志水 聖、白濱 暢彦、中村 優斗、丹羽 貴志、吉満 翔平
稲垣 孝芳、恒川 拓也、藤井 鷹希、吉川 宗樹
野々山 真由美、服部 祐磨、藤木 一真、船橋 竜、山田 成紀

ありがとうございました。

両親と家族に感謝しつつ

fin...