

学生の興味をつなぐための試みと私見

大津 元一

東京大学大学院 工学系研究科

電気系工学専攻

ナノフォトニクス研究センター

NPOナノフォトニクス工学研究推進機構



講演内容

I 教育とそれにかかわる研究

II 私の研究の紹介

III 自己流の試み

I 教育とそれにかかわる研究

私の担当講義

学部講義(2~3学年)-- 電磁気学、応用光学、
電気応用数学、量子力学

大学院講義----- 量子エレクトロニクス、
ドレスト光子工学

本企画のねらいは講義を通じた教育(各研究室での個別・不均一教育ではない)と解釈して話します。

(私見)学校教育の役割

- ・最高の教育は日常生活と仕事の中にある。
- ・学校教育は、幼児期の家庭教育の後にその初歩を教えるに過ぎない。

《学生に気付いてほしいこと》

- ・大学では自学の習慣をつけ自分で知識を獲得し、知恵を勝ち取る訓練。
→学習の経験に基づき行動し、自己成長、完成。

SSH学生を受け入れて感じたこと

中学・高校	大学
教員免許： あり	教員免許： なし
「指導要領」に沿った授業	研究を教育に反映
教科書を正しいものとして教える	教科書を批判する* (行間を読ませる)
社会が必要とする(に貢献する)基準以上のレベルの人材を育てる	新しい事を生み出す人材を育てる

*教科書にはこれまでにわかったことしか書かれていない。

↓
わかっていないことがあることに気付かせる。
(人間は無知であること、成長は「無知の知」から始まることを知らせる。)

↓
研究上の経験をもとに伝える。

ただし私の記憶と経験によると

- ・受講生は教員の雑談しか覚えていない(大津自身のこと)。
- ・「化学」の学生は化学を覚えている。
(よき友、よき師と交わり、手元の知財を眺めているうちに、いつのまにか教育研究教育の文化に浸る)
- ・(気質は時代とともに変わっているものの)
学生は夢のあることを勉強したい。
→「夢のネタがある」ことを知らせる(研究のネタから)
→勝手に育っていく。
- ・(ただし現代の学生気質は)学生は課題を欲している。
自主性にゆだねられると不安になる。

Super Science High School (SSH)

- ・静岡県立清水東高等学校

1年生が毎年8月に研究室訪問→研究内容紹介、見学

- ・石川県立小松高等学校(中谷宇吉郎)

3月末に特別講義(2年生)(光に関する話題と研究紹介)

9月に研究室訪問

きっかけ:

(先生が)本を読んだ、テレビで見た。



効果:

- ・光の勉強に興味をもった、光の学習クラブを作った、工学系への進学希望者が増えた。





- ・「研究はやっていないが、教え方のうまい教員からはよい学生が育つ？」

(教育に反映してする**研究**がない)

- ・学生は研究の努力をしている教員の背中を見て育つ。

Ⅱ 私の研究の紹介

9

では「研究」、「独創」とは？



「研究」(大辞泉)

物事を詳しく調べたり深く考えたりして事実、真理などを明らかにすること。

※関連分野の最近の国内外の研究動向を調べる
(ただし、知識の所有 = 知恵の体得)

Research (Oxford)

The systematic investigation into and study of materials and sources in order to establish facts and reach new conclusions.

「独創」(大辞泉)

模倣によらず独自の発想でつくりだすこと

Originality (Oxford)

- ・The ability to think independently and creatively.
- ・The quality of being novel or unusual.

「研究」のランク

- #1 発明・発見
- #2 改良
- #3 説明
- #4 紹介

(私の覚えている雑談)

10

私の研究のきっかけ



学生時代(1970年代後半)

恩師に与えられたテーマ: レーザーの性能を向上させる
(周波数揺らぎを抑え、安定化する)

1981年に独立して

- ・金も人も無い
- ・時間も無い(1年のうち2か月は東南アジアへ)

↓

何を研究しようか？

- ・光の性能を向上? --- 短波長化、高パワー化、短パルス化, etc.
- ・光の性質を調べる --- 光の量子的性質

----すべて先人がやっている

↓ 教科書を読むと(行間を読むと)「光を小さくする」が無い。

光の寸法を小さくできないか??

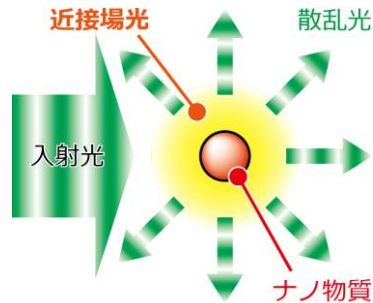
11



12

近接場光

非常識1: そんな光なんて、あるはずがない!

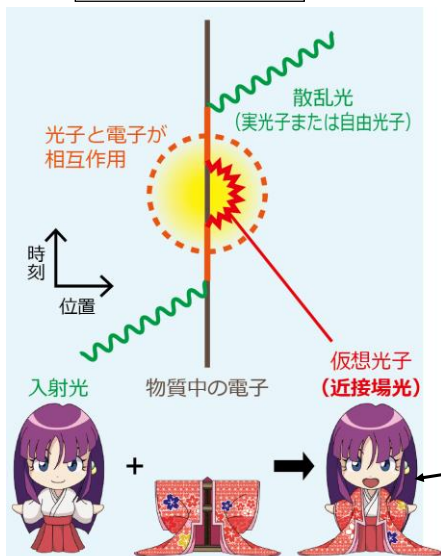


- 飛んでいかない。
- 直径＝ナノ物質の直径程度 (入射光の波長にはよらない)
- ↓
- ナノ寸法の光の小さな「粒」

ある! : 仮想光子

光以外の分野を調べてみると

ファインマン図



実光子

北半球

仮想光子

南半球

Dressed photon (ドレスト光子)
物質エネルギーの衣をまとった光子

14

近接場光

非常識2: そんな変なことをいつまでやっているんだ!

外国ではそんなことはやっていないぞ!
光とは何かを教えてやる!

北半球から見れば
「変な」、「特殊な」??

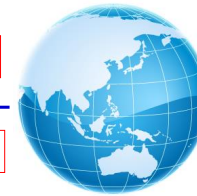
実は「気が付いていない」だけで、
普遍的 (包括的)

実光子

北半球

仮想光子

南半球

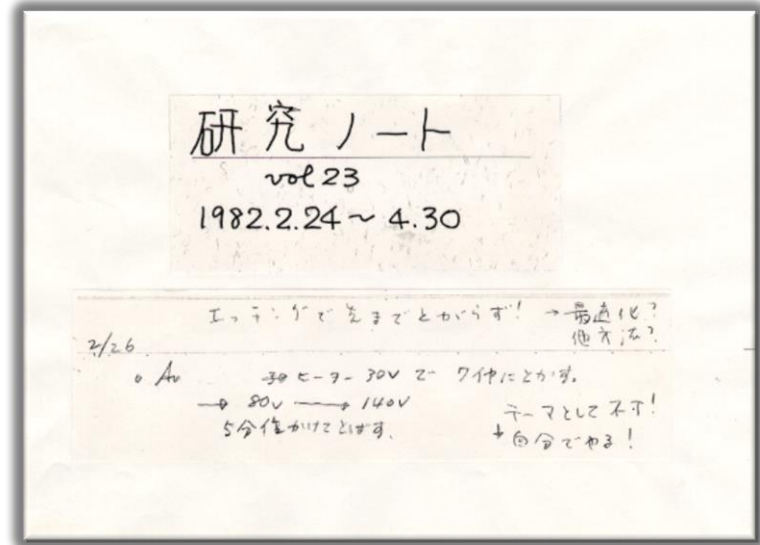


時間は等しく進むが、異なる現象あり。
→北半球で起きていることが全てではない。北半球のみが正しいのではない。

「渚にて」(小説は1957年)
@1959年 (Ava GARDNER, Gregory PECK)



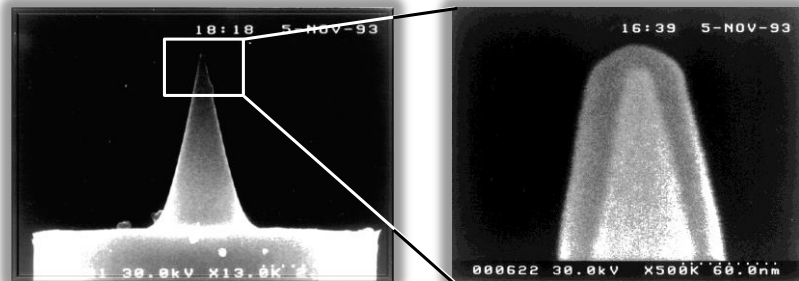
最初はうまくいかなかったが



16

ファイバプローブの電子顕微鏡写真

10年も粘って続けると ---



「実は私も昔、同じことを考えたことがあってね---」

(このような発言者が5人現れると本物だそうです。)

重要なのは「それを機敏にとらえて実行に移すかどうか」(忍耐強く)

最近では国語辞典にも

きんせつ ①「近接」(名)スル ①非常に近づくこと。接にあること。②「地」阿善等にするの地位に在る。経国美談 寛文。③「がく」(近接学) (proximities) 空間が個々人にとって、あるいは社会や共同体において、コミュニケーションの面でどういう意味をもつか研究する学問。コミュニケーション研究の一部門。④さよう⑤「近接作用」物体間にはたらく作用で、その間の媒質の状態の変化を通じて伝わりと考えられる作用。マクスウェルの電磁理論によれば、クロンの電気力なども電磁場を介してはたらく近接作用と考えられ、また万有引力もアインシュタインの一般相対性理論によれば、重力場を介してはたらく近接作用である。⑥遠隔作用。⑦しんかん⑧「近接信管」砲弾の弾頭に電波装置をつけ、目標の至近距離に達すると炸裂する信管。⑨「ばく」⑩「近接場光」光の波長よりも小さな物体に光を照射したとき、表面近傍に生じる薄い光の膜。光の回折限界を超えた微小領域の観察や操作を可能にし、ナノスケールにおける光技術を実現する。

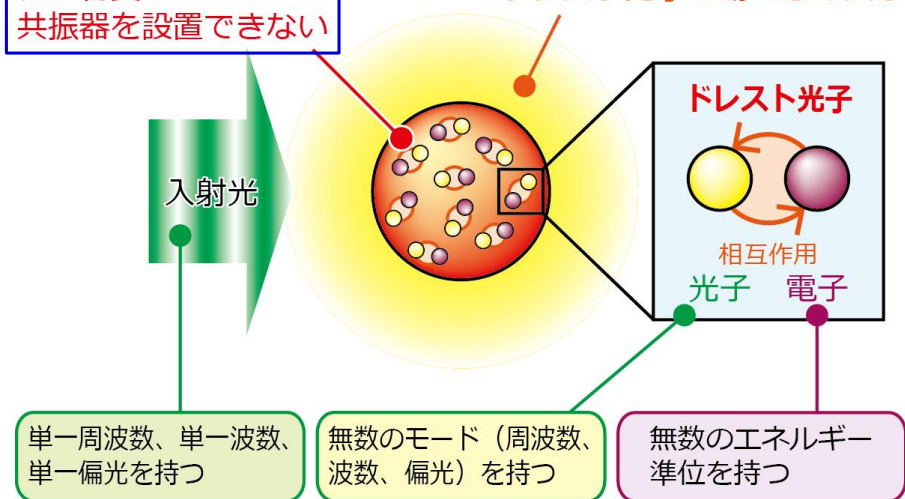
大辞林 第三版

一〇〇六年一〇月七日 第一刷発行
一九八八年一月三日 初版発行
一九九五年一月三日 第二版発行
二〇〇六年一〇月七日 第三版発行
編者 松村 明 (まつむら・あき) 三省堂編修所

近接場光からドレスト光子へ

ナノ物質：
共振器を設置できない

ドレスト光子の場のしみ出し



17

ドレスト光子の理論

ドレスト光子

✧ 微粒子のあつまり(I. Newton)

自由光子(A. Einstein)



問題!

波長より小さな寸法のナノ空間には共振器を定義できない。

→ 従来の光の量子論は使えない。

無数のモードの光子と無数のエネルギー準位の電子を考え、
新理論を作る必要あり。

↓ 波長、屈折率などの破たん

光学の概念ではなく、素粒子、場などの概念に基づいて作られた。

(実光子)

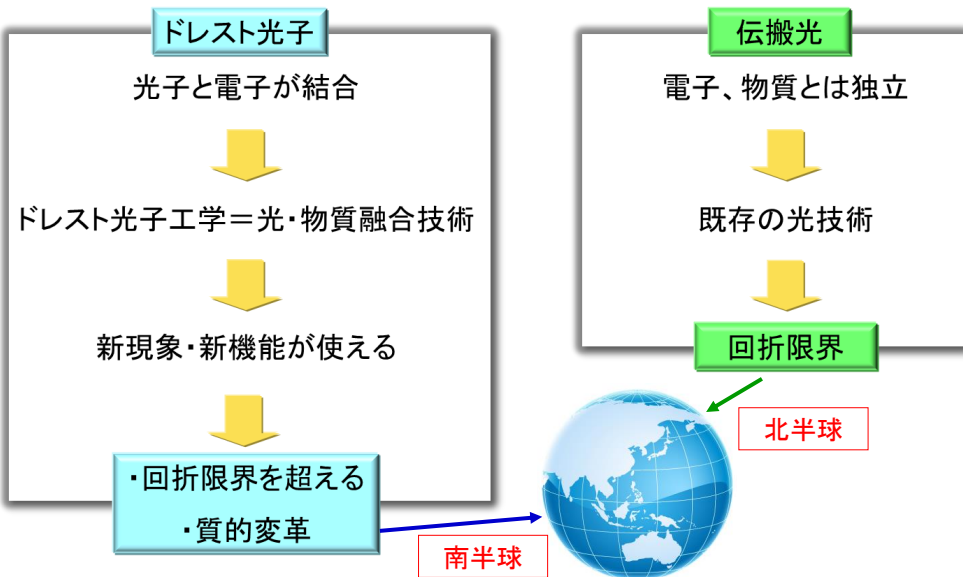
(仮想光子)

18

20

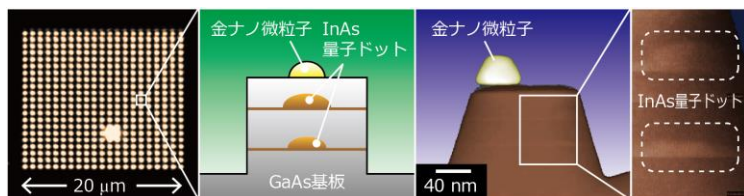
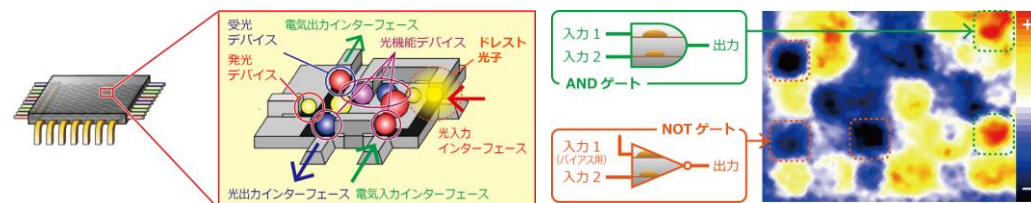
ドレスト光子とそれがもたらす質的変革

非常識3: 原理限界を超えるはずがない!



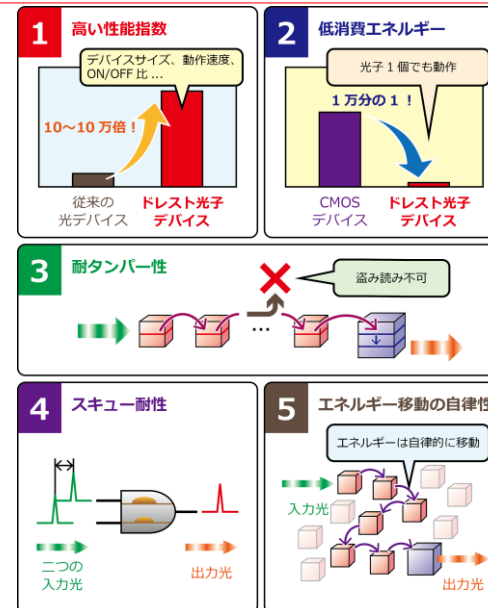
光の論理ゲート

非常識4: 光では論理ゲートはできないはずだ!



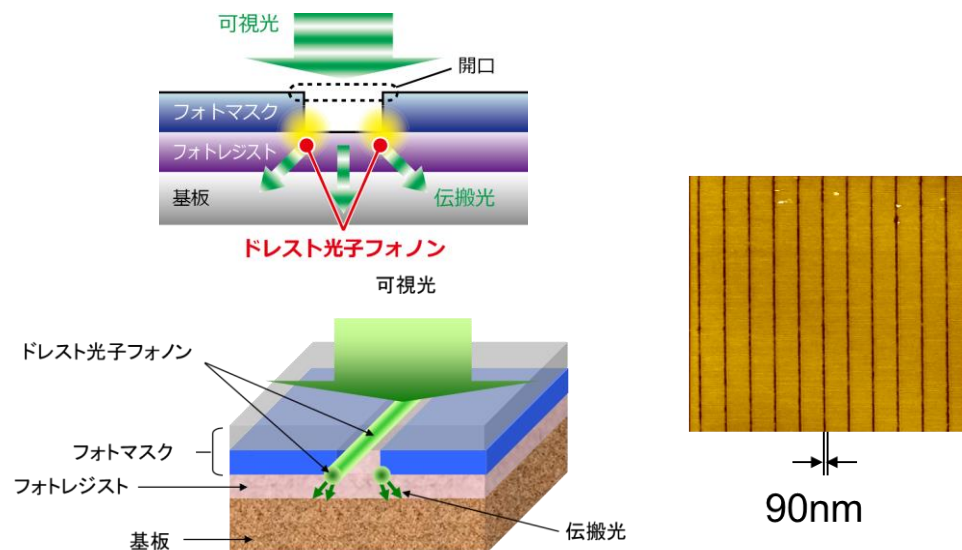
質的変革をもたらす性質

非常識5: そんな性能はではるはずがない!



ドレスト光子を使った光リソグラフィ

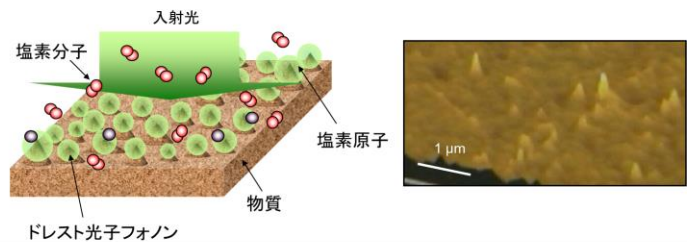
非常識6: 可視光に反応するはずがない!



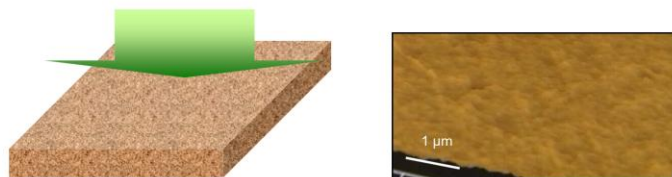
ドレスト光子を使った物質表面平坦化

非常識7: 道具を使わず自然に進むはずがない!

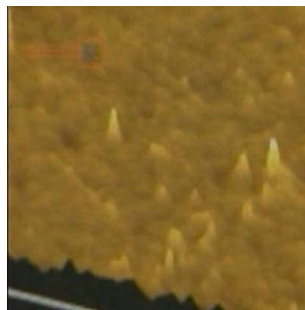
光をあてる



突起部が消滅



自律的に終了

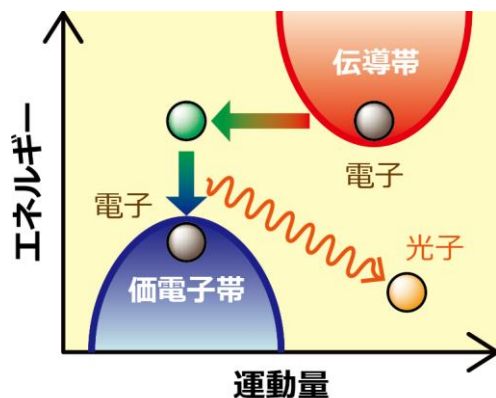


25

シリコンを使った発光ダイオード、レーザー

非常識8: シリコンが光るはずがない!

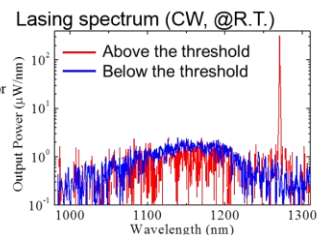
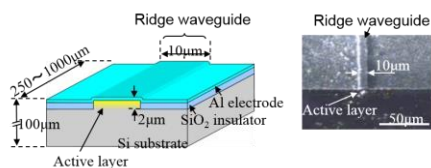
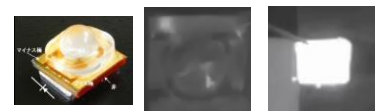
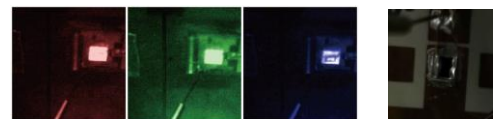
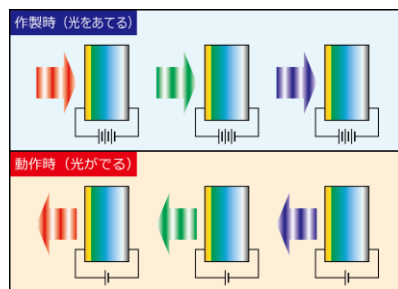
シリコンは間接遷移型半導体!
(半導体70年の歴史を見よ!)



26

作製時にあてる光と動作時にでる光

非常識9: 光の波長と材料の構造は1対1対応するはずだ!



これまでと今後

非常識10: 欧米でやっていないことが日本でできるはずがない!

質的変革

包括的科学技術として発展

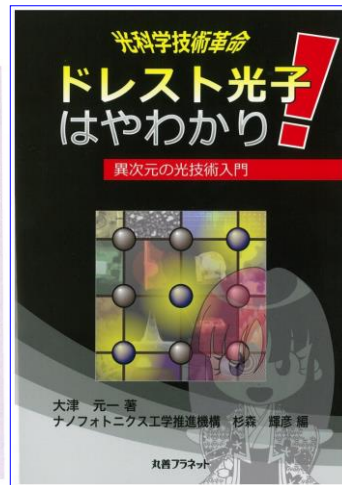


28



How

- (4)研究者の仲間内で褒め合っていることを如何に見抜くか？
(論文の被引用件数は必ずしも独創性の指標ではない。)
- (5)技術の量的変革ではなく「質的変革」を如何に追求するか？
- (6)自分の能力を補完する人と如何に協力するか？
- (7)知財の拡散を如何に防ぐか？
- (8)独創的な研究成果を如何に既存の用語で説明し従来派にアピールするか？



29

学生へのメッセージ



How

- (1)流行している耳触りのよい研究課題から自分の研究課題を如何に遠ざけるか？
(流行の研究課題と結びついた瞬間に独創性は断たれる)
- (2)世界の研究動向を調査しそれをもとに研究課題を選ぶという「習った学問」を如何に避けるか？
(研究をする前に論文や資料を読みすぎると後追い研究になる。)
- (3)人まねを如何に見抜くか？
(「---という技術は---という人が発明した」の文中の「---」に正しい言葉を入れる訓練が必要。第一人者を標榜する人以前に、その概念を提案した真の発明者がいる場合がある。それを如何に見極めるかが大切。)

30

How

上記(1)－(8)の問いが示唆するように
「何を(what?)研究するか？」よりも
「如何に(how?)研究するか？」が重要。

あえてwhat?について言えば「何を研究しないか？」が大切。

以上のようなことを「雑談」の時間に話しています。



・学生が眼を覚ます。眼が輝く。質問に来る。
(駒場の教養学部1年生に対するオムニバス講義でも同じ)

31

学生へのメッセージ

32

Ⅲ 自己流の試み

- ・講義の仕方----自己流以外にない
自分で模索する
5回こなすとわかりだす
5回以上になるとマンネリ
- ・しかし自己流の教え方はしない
(教える内容、順番に担当者のオリジナリティは出さない。)
- ・研究上の経験をもとにした雑談、エピソードを披露。
(学生が眼を覚ます。眼が輝く。質問に来る。)
《「電気応用数学」の適用例》

33

現代学生気質に合わせて実施していること

講義は手間がかかる

- ・コツコツとゆっくり教える
- ・詳しい教材を手作り
- ・演習問題を毎回出題、採点后答案を手渡し
(顔と名前を覚える: 学生の個性チェック、不均一度チェック
---学生は指導教員のみでなく学科教員全員が面倒を見る)
- ・中間試験、期末試験の問題作成、実施は精密に。
(「厳しく」ではない)

34

学部講義シラバス

電子量子力学I (大津 元一)

3年冬学期(水曜日10:30-12:00、242講義室)
11月27日は中間試験 必要に応じ補講
成績判定: 出席点、演習、中間試験、期末試験
中間試験、期末試験---筆記用具のみ持ち込み可
講義資料のアップロード先: <http://uuu.t.u-tokyo.ac.jp/jpn/others/kougi.html>

講義内容:
一粒子系の量子力学の基礎事項を学ぶ。演算子の行列表示、摂動論、散乱、光の吸収と放出を含む。

1. 量子力学の基本知識の復習
2. 粒子の衝突
確率の流れの密度、1次元の散乱、トンネル効果
3. 行列と状態ベクトル
演算子の行列表示、波動関数のベクトル表示と行列の対角化、
2つの行列の同時対角化、シュレーディンガー表示とハイゼンベルク表示、
ハイゼンベルクの運動方程式
4. 時間を含まない近似的解法
変分法、WKB法、時間に依存しない摂動法(縮退の無い場合場合)
5. 時間を含む近似的解法と光の吸収・放出
時間に依存する摂動法、光と電子の相互作用、電気双極子遷移の選択則、
吸収・誘導放出・自然放出
6. 光の量子論、場の量子論の基礎
光の量子化、光子数状態と光の吸収・放出、コヒーレント状態、第二量子化、
対角化のための演算子代数

35

36



ドレスト光子工学

(火曜日10:30-12:10、工10、390号室)

講義資料のアップロード先：<http://uuu.t.u-tokyo.ac.jp/jpn/others/kougi.html>

講義内容：

ナノフォトニクス の原理であるドレスト光子の概念。その応用としてのデバイス、加工、システム技術。

・1. 光の量子論（復習）

0. 場の量子論のまとめ

1. ドレスト光子とは何か

従来の光との比較、ドレスト光子の関与する相互作用、
ナノ物質の間のエネルギー相互作用、さらなる結合がもたらす新しい現象

2. ドレスト光子の描像

物質励起の衣をまとった仮想光子、ドレスト光子の空間的広がり

3. ドレスト光子によるエネルギー移動と緩和

二つのエネルギー準位に起因する結合状態、ドレスト光子デバイスの概念

4. ドレスト光子とフォノンの結合

分子の解離現象と新しい理論モデルの必要性、ハミルトニアンの変換、ドレスト
光子の停留の機構、ドレスト光子フォノンが関与する光の吸収と放出

5. ドレスト光子によるデバイス

ドレスト光子デバイスの構成と機能、ドレスト光子デバイスの性質

6. ドレスト光子による加工

ドレスト光子フォノンによる分子解離、ドレスト光子フォノンによるリソグラフィ、
ドレスト光子フォノンの自律的な消滅過程を用いた微細加工

7. ドレスト光子によるエネルギー変換

光エネルギーから光エネルギーへの変換、
光エネルギーから電気エネルギーへの変換、
電気エネルギーから光エネルギーへの変換

8. ドレスト光子の空間的広がりと数理科学的取り扱い

陪層性、電気四重極子から電気双極子への変換、
プローブなどの不要な技術、数理科学モデル

第9章 まとめと展望

9.1 まとめ

9.2 今後の展望

参考書： 大津元一、「ドレスト光子」 朝倉書店 2013年3月
M. Ohtsu, *Dressed Photons*, Springer, Berlin, 2013

<http://uuu.t.u-Tokyo.ac.jp>

Unique, Ultimate, Universal