

# 光でナノテク・ナノサイエンス

代表挨拶 ..... 河田 聡 3

## A セッション 基調講演

光で拓くナノの世界 ..... 河田 聡 8

21世紀の学問体系 / ナノテクノロジーは21世紀の錬金術  
ナノの世界を光で切り拓く / 可視光でいかに短い波長をつくるか  
遅い光(フォトン)をつくる / 近接場顕微鏡の開発  
ナノ金属微粒子をプローブに使う / アデニン分子のラマンスペクトルの観察  
単層カーボンナノチューブの検出 / 光の掛け算 / 3次元レーザー走査による光重合  
光で生体のナノ構造を観察する / 光とナノテクノロジー

## B セッション 光でナノ加工

ナノ周期構造の光学 ..... 羽根 一博 24

多彩な応用が広がる回折光学素子 / 格子周期が波長より大きい領域  
ホログラムの回折格子 / 集積回路の微細加工技術 / ガの眼はナノ構造  
ナノ構造を製作する / ガラス表面にナノ構造を製作する  
発光ダイオードの光取り出し効率の改善 / ワイヤグリッド偏光子の原理 / まとめ

分子に光情報を記録する ..... 入江 正浩 33

光メモリの構造 / 光メモリの記録法 / フォトンモード記録用の記録媒体  
3次元光メモリ媒体への応用 / 近接場光メモリ用媒体への応用 / まとめ

光のナノ集積回路 ..... 大津 元一 41

はじめに / 近接場光の原理 / ナノ光スイッチの動作原理  
ナノ光スイッチの作動例 / ナノ光デバイスのためのナノ光加工  
CVDによる光ナノデバイスの作製 / ナノフォトニック集積回路の現状と展望

## C セッション 光でナノ計測

光で観るナノバイオ分子の力 ..... 柳田 敏雄 54

“もの”から“生体”へ / 分子機械の動き / 生体素子はあいまい  
1分子ナノ計測法で生体システムを読む / 1分子イメージングの原理  
ATP加水分解の観察例 / 1分子を操作する / ミオシンの運動のメカニズム  
素子のあいまいさは生体システムの柔軟さの本質

トンネル発光で観るナノ構造 ..... 潮田 資勝 64

ナノテクノロジーとは / 量子サイズ効果 / 走査型トンネル顕微鏡の原理  
ナノテクノロジーへの応用例 / 発光スペクトルから原子種をみわける  
STM発光分光法の位置分解能 / まとめ

透明なナノ構造を光で測る ..... 梅田 倫弘 72

はじめに / 偏光の種類と身近な偏光現象 / 複屈折とは  
透明材料の複屈折をみる / 複屈折近接場光学顕微鏡の実現に向けて  
複屈折近接場光学顕微鏡装置の構成 / 複屈折近接場光学顕微鏡の測定特性  
ナノ・メゾスコピック領域における応力解析 / おわりに

## D セッション ナノ構造の光デバイス1

量子ナノデバイスの展望 ..... 荒川 泰彦 84

まえがき / ナノテクノロジー、量から質へ / 量子力学の世界での電子の振舞い  
量子ドット研究の事始め / 超格子・量子井戸から量子ドットへ  
量子ドットレーザーの展開 / 量子ドットの形成法 / 次世代光ネットワークと構成要素  
量子ドット中の電子の物理とその制御 / 量子ドットデバイスの新たな展開へ向けて

# 目次

新しい光ナノ構造：フォトニック結晶	野田 進	96
フォトニック結晶とは / 3次元フォトニック結晶の実現 2次元フォトニック結晶を利用したデバイス		

## Eセッション 特別講演

カーボンナノチューブと分光	飯島 澄男	102
はじめに / ナノ構造をみる / カーボンナノチューブにフラレーンを組み込む カーボンナノチューブおよびナノホーンの応用 / 燃料電池の電極にナノホーンを用いる ナノホーンへの期待		

## Fセッション ナノ構造の光デバイス2

光ナノデバイスの作り方	江刺 正喜 / 小野 崇人 / Phan Ngoc Minh	106
はじめに / 近接場光によるパターン転写 / 近接場光プローブとその作製法 近接場光プローブの特性 / 表面プラズモン効果を使っての光の増強 光ファイバ先端の近接場光プローブおよび近接場光を用いた光記録 マルチプローブによるデータストレージ / マルチプローブデータストレージシステム 電界放射電子線アレイによるマルチ鏡筒電子線描画装置 ナノ構造による高感度センシング / まとめ		

光で捉えるナノプローブ	川勝 英樹	118
はじめに / 背景 / ナノプローブを使う目的 / ナノ振動子をつくる カーボンナノチューブカンチレバーに向けて / バネ定数と強度の測定 光でナノプローブを測定する / ラテラル力顕微鏡 / おわりに		

## Gセッション ナノ構造の色

蝶の羽根はナノ構造	木下 修一	128
はじめに / 構造色の原理 / 多層膜モデルの検証 / モルフォチョウの構造色の仕組み モルフォチョウの色の違いと構造 / 再現基板の作製 / 生物・無生物界の構造色 自然界の構造色の仕組み		

ナノ粒子の色	林 真至	139
ナノってなに? / ステンドグラスの色の秘密 / ナノ粒子1個のスペクトル観察 半導体のナノ結晶による発光 / 宇宙の塵の色 / 塵のお経		

熱の出ないナノランプ	高原 淳一	146
白熱電球の誕生 / 照明と省エネルギー / 白熱電球の物理 白熱電球を高効率化するには / 3次元フォトニック結晶フィルタ フィラメント型ナノランプの構造と原理 / 微小共振器中の光のモード ナノランプの試作例 / まとめ		

## Hセッション パネルディスカッション

光でナノテク・ナノサイエンス		158
日本におけるナノテクノロジー研究の流れ / どんなコンテンツをもつかに勝利の鍵が 物理からアプリケーションへの移行 / 医学・バイオテクノロジー分野への応用 ナノテクを実現するうえでの障害とは / ナノネットによる情報提供が始まる ナノテクノロジー発展の負の側面とは / 生体系に学ぶ / 情報提供を推進する 基礎研究があつての応用研究 / 今、変革の時代が始まっている / ナノテクノロジーの夢		

演者紹介		168
------	--	-----

# 光で拓くナノの世界



河田 聡

大阪大学大学院工学研究科教授、理化学研究所主任研究員

このシンポジウムの企画展として、光テクノロジーの重要性についてお話をし、私たちが進めている遅いフォトンを使ってナノの世界を切り拓く近接場光学と、フォトンの掛け算をしてナノの世界を操る多光子光学について紹介しましょう。

## 21世紀の学問体系

20世紀から21世紀にはいった時点で、これまでの常識がさまざまところで崩れてきて、再編の時代を迎えています。国の仕組み、経済、社会もそうですが、産業や学問も新しい体系に移行しつつあります。このようなことは、世紀の変わり目にはいつも起こっていました。19世紀を支えた蒸気機関は、18世紀末、1774年にワットが発明したものです。19世紀の終わりにエジソンが電灯や電力、映画、電話、蓄音機などを発明し、20世紀に、私たちは電気の時代を生きました。同じような論理で考えると、20世紀末の1982年にSTMが発明され、85年に $C_{60}$ が、91年にカーボンナノチューブが発見され、ナノテクノロジーが21世紀を支えるといえます。

学問の世界も同じです。20世紀の最初の1901年にノーベル賞が創設されましたが、1900年前後にはそうそうたる研究があり、そ

れが20世紀を支えてきました。そのなかに、1900年のマックスプランクの量子論、05年のアインシュタインの光量子などのサイエンスもあります。

20世紀には、さまざまな学問体系が独立して発展してきました。エレクトロニクスや生物学、化学、物理学など個別に発展してきたのですが、最近、個別の知識だけでは説明がつかなくなってきています。そこで、生物と情報をつけてバイオインフォマティクスとか、機械とエレクトロニクスをつけてメカトロニクス、フィジカルケミストリーなど、さまざまな組合せがでてきました。そのような再編が一通り終わると、次のモードに移ります。新しいモードは、ディスプレイを融合して縦に貫いてつくることから、トランスディスプレイナリティと呼ばれています。このモードがすでに始まっています。機械、物理、電気といった分類ではなく、複雑系数理学、ナノサイエンス、量子科学といった、これまでの100年の学問体系を超えたところで、次の世紀のサイエンスが生まれると推測されます。

## ナノテクノロジーは21世紀の錬金術

21世紀型のディスプレイのひとつは、ナノテクノロジーです。ナノの世界では、物理、

化学、生物といった個別の学問で考えることはできません。たとえば、DNAは生物の一部ですが、生物学的研究では収まりません。また、DNAとは核酸だから化学であるといっても、化学的考え方では収まりません。これまでの学問分野にとらわれていてはナノのサイエンス、テクノロジーを開拓することは不可能です。ここに、新しいサイエンスを生み出す楽しみがあります。

DNAは機械(力学)や電気光学としてとらえることもできますし、遺伝情報をコピーすることから情報学で考えることもできます。右回りの2重らせん構造をもつのですから、幾何学として考えることもできます。私たち大学の研究者は今、この新しいサイエンス、ナノテクノロジーに真剣に取り組んでいます。20世紀に生まれた学問体系が崩壊して再構築してできる新しい分野の技術、材料、産業がナノテクノロジーです。

錬金術とは、銅や鉛から金をつくる技術です。もちろん、それは成功しませんでした。現在の錬金術は化合物半導体です。ガリウムとアルミニウムとヒ素とリンなどを混ぜると、新しい機能が発現します。未来の錬金術はナノレベルで原子配列を制御して、さらに新しい機能を生みだします。きわめて単純な炭素だけでも、ダイヤモンドからフラーレン、C<sub>60</sub>、カーボンナノチューブ、グラファイトなどができます。ナノテクノロジーは21世紀の錬金術です。

### ナノの世界を光で切り拓く

ナノテクノロジーに光がどうかかわるのか？それがここでのテーマです。光は電子ビームなどに比べてエネルギーが低いので、生体のみならず、あらゆる材料に優しいプローブとして使えます。大気中・水中でも伝搬することができます。また、光は色を有する

ため、波長を変化させることでエネルギーを変化させ、異なる振動数の情報を観察することができます。つまり、物質を識別することができます。光を使うことにより、物質を色で分析・選択して、観察・加工・走査・分析することができます。しかも、優しいプローブです。現在、光技術はエレクトロニクス分野と組合さって、液晶ディスプレイをはじめとして光ファイバ、コンパクトディスク、DVDなどが実用化されています。

日本は戦後、精密機械をつくることで復興し、世界に貢献してきました。小さなものを精密につくることが得意です。トランジスタラジオ、腕時計、ウォークマンなど、ミニからマイクロ、そしてナノに移行することは、日本人がもっとも得意としており、かつ好きな分野です。そのため、これからはナノで世界をリードしていくと思います。

また、日本が戦後、強くて世界に貢献してきた分野として光技術があげられます。カメラは日本が圧倒的に世界市場を支配してきました。顕微鏡、光ディスク、レーザー加工、半導体製造装置のステッパー、液晶などの光技術も、日本が得意としてきた分野です。次の時代は、光技術はフォトンクスという言葉に置き換わろうとしています。光とナノを組合せるとさらに新しい世界が生まれます。光で原子・分子・塩基・蛋白質分子、量子構造などのナノ構造を制御したり、ナノスケールの光メモリや光加工などが実現されます。そのなかで、量子効果やサイズ効果、メゾ効果といったナノスケール特有の科学も生み出すことができます。そう考えて、私たちはナノで光の世界を拓こうというプロジェクト研究を進めてきました。

### 可視光でいかに短い波長をつくるか

光でナノの世界をみようとする、本質的