

# 原子直視法によるナノコンタクトの光機能探索

木塚 徳志

筑波大学大学院 数理物質科学研究科

## 1. 研究のねらい

ある局所構造一つの示す光学特性を測定し、その構造の素因子である結晶構造、外形、表面、転位、および点欠陥と光学特性の関係を明らかにすることは、光研究の目標とする1つである。本研究では、原子レベルの構造観察を基盤として、微細構造個別の分光や光反応を実験する手法を開発し、微粒子、原子クラスター、ナノメートルワイヤー、原子ワイヤーおよび固体量子ドット等のナノメートルサイズコンタクトの光機能を研究した。この構造観察法は、本研究者が本プロジェクト開始以前に基礎を構築し、光研究のために最適化と改良を続けてきた原子直視法である。単純な静的構造観察だけでなく、ナノコンタクトをその場で合成し、その原子ダイナミクスを連続的に捉え、かつ、力学・電気伝導・光学特性を同時に測定できる新たなナノ物質の総合的実験手法を構築することを目指した。

## 2. 研究成果と考察

### (1) 手法開発

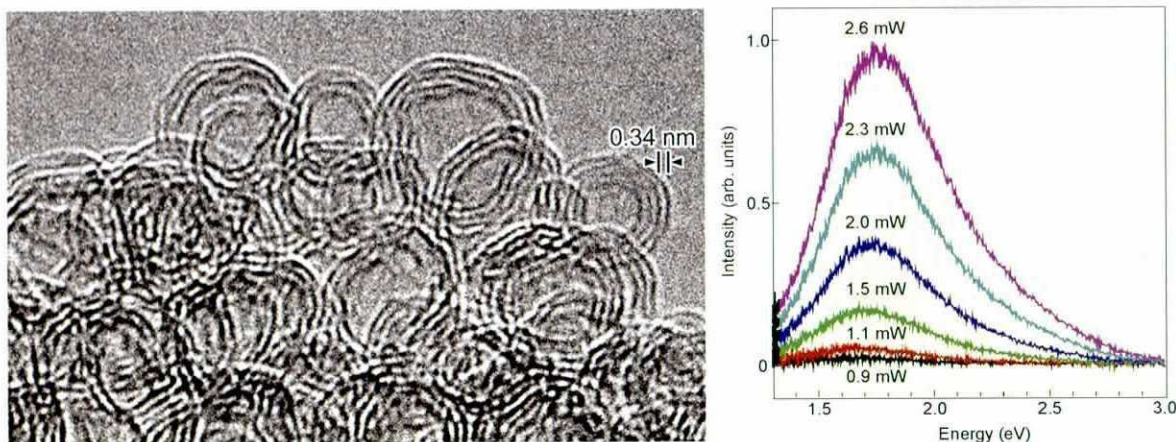
開発の母体機となる原子直視顕微鏡主要部が独自製作であるため、これに付加する機器やソフトウェアも、全て自主設計、製作になった。具体的に開発した主な機器は、試料全域光照射系、試料全域光検出系、光照射位置検知用微細プローブ観察系、光照射型ナノ試料制御系、光検知型ナノ試料制御系、電子顕微鏡本体のゴニオメータ、試料位置制御系、高分解能観察像と信号同時記録系、解析ソフトウェア、である。以上の装置、機器、記録・解析系を組み入れて、試料個別に、しかもその構造の動的変化を原子レベルで観察しながら光学特性を研究できる手法を完成させた。

### (2) 応用研究

上記の手法を用いた研究結果について以下に述べる。

#### ・単相ナノコンタクトのその場合成と個別物性解析

最適化された試料操作と拡充された環境変化により、光研究の素材としてのナノコンタクトの独自のその場合成が可能になった。例は、シリコンナノワイヤー、カーボンナノチューブ、フラーレンナノウィスカーの他、従来合成できないとされていたイリジウム、ロジウム、パラジウムの原子ワイヤーなどである。他の手法では解析できない電気伝導、力学特性も明らかにした。



(図1)

### ・金ナノコンタクトの光スイッチ機能

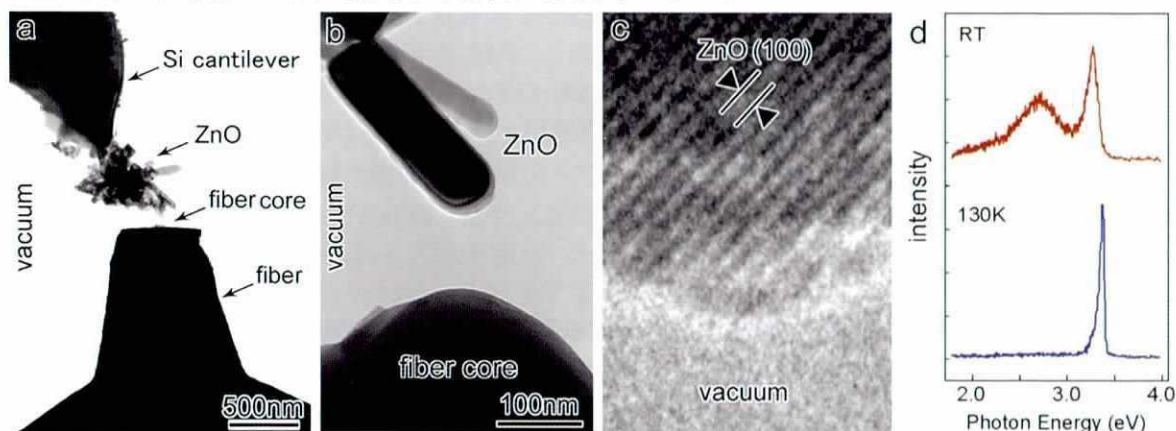
金のナノコンタクトに波長 504 nm の光を照射すると、ある最小断面のときにだけ、光照射によって電気伝導が二値化し、このコンタクトがスイッチング機能を有することを見出した。

### ・カーボンナノカプセルの合成と発光

フラーレン分子が繊維状に結晶配列するフラーレンナノウィスカーを加熱して得られる非晶質ウィスカーを、本手法で用いて 1 本ずつ通電すると、数原子層の隔壁からなるカーボンナノカプセルに変化し、1.8 eV を中心に発光することを見出した(図 1)。出発材料であるフラーレンナノウィスカーは、ごく簡便な溶液界面析出法で大量に合成できる。本研究結果は、この材料初めての応用性の高い光学特性の発見となった。

### ・酸化亜鉛微粒子の個別分光

透過型電子顕微鏡では、電子線を直径 0.2 nm まで容易に収束できる。酸化亜鉛微粒子に、この電子線を用いたカソードルミネッセンスを生じさせ、近接場顕微鏡プローブ(図 2a)や自作シリカプローブ(図 2b)を粒子個々に接近させ、個別に分光した。構造観察の原子分解能を保ったまま(図 2c)、130 K の測定が可能となり(図 2d)、集合試料から集積されるカソードルミネッセンスの要素である粒子個別の発光スペクトルを見出すことができるようになった。フォトルミネッセンスの個別分光についても、紫外光領域まで、照射、検出、分光できるようになった。



(図 2)

### 3. 謝辞

ご指導、ご意見いただきました研究総括の花村榮一先生、および領域アドバイザーの先生方に心から感謝申し上げます。お世話になりました領域事務の方々に厚くお礼申し上げます。

### 4. 主な論文

1. T. Kizuka, Y. Takatani, K. Asaka and R. Yoshizaki, Phys. Rev. B **72**, 035333. (2005).
2. K. Asaka and T. Kizuka, Phys. Rev. B **72**, 115431 (2005).
3. K. Asaka, R. Kato, Y. Maezono, R. Yoshizaki, K. Miyazawa and T. Kizuka, Appl. Phys. Lett. **88**, 51914 (2006), & **89**, 071912 (2006).

### 5. その他

受賞 (1) 科学技術映像祭総理大臣賞(2005年) (2) Int. Metallographic Contest, 2-nd and 3rd (2004), (3) 日本金属学会組織写真賞(2004).

特許 2件出願.