

低加速ナノプローブで電子励起したナノ構造からの 放射光角度分解分光観測

Angle-resolved spectroscopic observation using light from nano-structures excited by low-energy electron probe

高柳 邦夫 (TAKAYANAGI KUNIO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授



研究の概要

本研究では、収差補正電子顕微鏡を用いて細く絞られた電子ビームで物質を励起し、局所領域から放射される光を観測する研究を行う。収差補正装置を用いて高加速電圧と低加速電圧の両方において微小な電子プローブを実現する。角度分解可能な放射光検出分光システムを開発し、半導体量子構造および表面プラズモンが関与する発光現象に適用する。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ構造科学

キーワード：収差補正、電子顕微鏡、ナノプローブ、ルミネッセンス、表面プラズモン

1. 研究開始当初の背景

- (1)透過型電子顕微鏡用収差補正 (0.5Å の空間分解能) の開発が進行していた。
- (2) 透過型電子顕微鏡と組み合わせたカソードルミネッセンス法(TEM/CL)は、光をつかった近接場光学顕微鏡より空間分解能が優れ、10年以上前から半導体欠陥や量子構造の研究に応用されていた。
- (3) TEM/CL 検出システムでは、励起源の電子プローブ径が 10nm 以下にならない。
- (4)プラズモニクス分野は、電子と光のナノ現象として新機軸となる期待があった。

2. 研究の目的

- (1)本研究では、サブ-ナノメートルに絞られた電子ビームでナノ構造物質を励起し、局所領域から放射される光を同時観測する STEM-CL 装置の開発を行う。
- (2) ナノ領域からの発光現象、表面プラズモンと光との変換過程などについて、エネルギーと運動量の関係 (分散関係) を明らかにして、ナノ構造物質(半導体、金属、ハイブリッド)での電子-光現象を研究する。

3. 研究の方法

- (1) 収差補正走査型透過電子顕微鏡 (Aberration Corrected STEM : AC-STEM) を使って、ナノプローブを作る。
- (2)電子励起された出射光を高効率で検出し、かつ、光の角度分解測定が可能な分光システム、角度分解 CL (Angle-

- Resolved CL :AR-CL)を新規に開発する。
(注)放物面型の集光ミラーとワイドギャップポールピースを、特別に設計・製作する。
(3)AC-STEM と AR-CL を組んだシステムで、半導体ナノワイヤーのルミネッセンスおよび金属ナノ構造上の表面プラズモンポラリトンの光変換の研究を進める。

4. これまでの成果

(A)新 STEM/CL システムの開発

AR-CL を組み込んだ AC-STEM システムの一部外観写真と構成を、図 1 に示す。

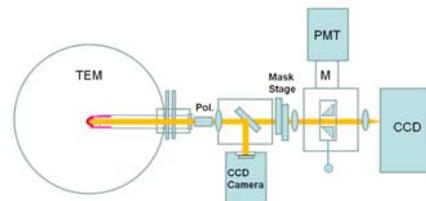


図 1 TEM ステージと光検出システム
図 1 に示されるように(図 3 も参照)、角度分解-CL システムは、大型の放物面ミラーを

試料位置に置き、ナノ電子プローブで励起された場所から出射する光をミラーで反射させ、平行光束にしたあと、強度計測や分光を行う。角度分解は、CCD 検出器の前に小さな孔のマスクを置き位置制御して行う。

図 2 には、AC-STEM/AR-CL 装置で観察した金原子の STEM 像を示す。大型の放物面ミラーを収納する対物レンズのポールピースは、広いギャップを持つ。それにも関わらず、収差補正装置の働きで、ナノスケールの電子プローブが得られた。

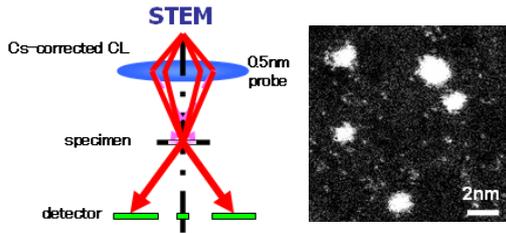


図 2 STEM ビームと金原子の STEM 像

(B)物質現象の観察

(1) 1D - 2D プラズモニック結晶の電子 - 光現象の研究

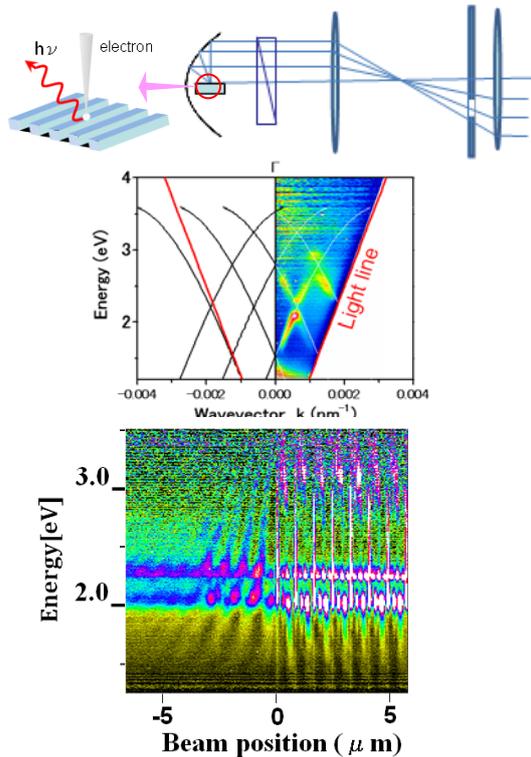


図 3 光学系および 1D プラズモニック結晶の分散関係とビーム走査スペクトル像

表面ステップや 1D プラズモニック結晶から図 3 におけるように伝播する表面プラズモンポラリトン (SPP) の分散関係を導出し

た。バンド端のエネルギーの SPP-光変換の過程が見られる。

(2) 半導体ナノワイヤーの量子効果 (InP, GaAs)や発光の偏光特性 (ZnO) の研究

(3) 金属微粒子によるカソードルミネッセンス増強効果の研究
等において成果を得た。

5. 今後の計画

(1) 金属クラスターの研究

直径 10nm 以下の金属クラスターの発光から局在表面プラズモン(LSP)や量子効果の影響を明らかにする。

(2) SPP の Cavity モードの研究

プラズモニック結晶中の Cavity に対して構造と SP モードの特性との関係を明らかにする。

(3) ナノ構造による Smith-Purcell 放射、チェレンコフ放射の研究

角度分解測定から特異な分散関係を明らかにする。

6. これまでの発表論文等

(1) Y. Kurui, Y. Oshima and K. Takayanagi,

Conductance quantization and dequantization in gold nanowires due to multiple reflection at the interface; Phys. Rev. B **79**, 165414 (2009)

(2) H. Sawada, T. Sannomiya, F. Hosokawa, T. Nakamichi, T. Kaneyama, T. Tomita, Y. Kondo, T. Tanaka, Y. Oshima, Y. Tanishiro and K. Takayanagi;

Measurement Method of Aberration from Ronchigram by Autocorrelation Function;

Ultramicroscopy **108**, 1467-1475(2008)

(3) T. Suzuki and N. Yamamoto,

Cathodoluminescent Spectroscopic Imaging of Surface Plasmon Polaritons in a 1-Dimensional Plasmonic Crystal, Opt. Express, **17**, No.26, 23664-23671 (2009).

(4) N. Yamamoto and Takahiro Suzuki,

Conversion of Surface Plasmon Polaritons to Light by a Surface Step, Appl. Phys. Lett. **93**, 093114-3 (2008).

ホームページ等

http://wwwsurf.phys.titech.ac.jp/tylab/index_j.html