

(研究題目)

Siの量子点と量子細線の光物性とフォトニクスデバイスへの応用  
Optical Properties of Si quantum dots and wires: new photonic devices.

(研究者)

金光 義彦 筑波大学物理学系 講師  
Yoshihiko Kanemitsu Lecturer, Institute of physics, University of Tsukuba

We studied the optical properties of silicon quantum wires and dots by means of laser spectroscopy. We clarify the origin of the strong photoluminescence from these novel silicon structures. Moreover, we fabricate electroluminescence devices and demonstrate optical switching experiments using unique optical properties of wires and dots.

#### 4-1 研究目的

近年、電子や正孔あるいは励起子を狭い空間に閉じ込めた際に起こる新規な現象すなわち量子サイズ効果の研究が活発に行われている。本研究では、IV族間接ギャップ半導体であるSiを超微粒子化あるいは擬一次元化することにより量子点と量子細線を作製し、それらの光学的特性とバンド構造を明らかにすることを目的とする。超短パルスレーザー技術を利用した超高速時間分解分光により、Si量子点や量子細線における直接遷移的な可視発光のメカニズムや光非線形性を明らかにし、発光素子または高速フォトニクス素子としての可能性も探求する。

#### 4-2 研究成果

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

##### 1. 極限量子細線ポリシランの光物性

1-1 極限量子細線として有機化学的に合成したポリシランを用いて一次元的な励起子の挙動とそのコヒーレント長を明らかにした。

1-2 ポリシラン細線に3つのSi-Si結合を有するSi原子を導入することにより、励起子が局在することを明らかにした。

1-3 Si骨格の構造（ラダー化、ネットワーク化）を制御することにより、ポリシランの発光波長を変化させることができた。

## 2. ナノメートルSi量子微結晶の光物性

2-1 微結晶表面と微結晶内部に起因する発光を、微結晶サイズと表面構造を制御することにより明らかにした。

2-2 強い赤色発光は表面をホッピングする励起子の再結合によることを明らかにした。

2-3 酸化Si微結晶を作製し、酸化条件を制御することにより、青、緑、赤色の高効率発光を得た。

## 3. デバイスへの応用

3-1 高輝度発光ダイオード開発のための材料設計指針を明らかにした。

3-2 バルク結晶には見られない巨大な光非線形性を観測した。

以上の結果の一部は以下の論文に発表した。

### 4-3 発表論文リスト

#### 論文

- 1) Y.Kanemitsu, H.Uto, Y.Masumoto, T.Matsumoto, T.Futagi and H.Mimura:  
"Microstructure and Optical Properties of Free-Standing Porous Silicon Films: Size Dependence of Absorption Spectra in Si Nanometer-Sized Crystallites"  
Phys. Rev. B **48** (1993) 2827-2830.
- 2) Y.Kanemitsu, T.Ogawa, K.Shiraishi and K.Takeda:  
"Visible Photoluminescence from Oxidized Si Nanometer-Sized Spheres: Exciton Confinement on a Spherical Shell"  
Phys. Rev. B **48** (1993) 4883-4885.
- 3) H.Mimura, T.Futagi, T.Matsumoto, S.Takayama, M.Ktsuno, Y.Ohta, K.Kitamura and Y.Kanemitsu:  
"Electroluminescence from  $\mu\text{C-SiC/Porous Si PN junctions}$ "  
Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **298** (1993) 385-390.
- 4) T.Matsumoto, T.Tamaki, T.Futagi, H.Mimura and Y.Kanemitsu:  
"Visible Photoluminescence from Porous Silicon Carbide"  
Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **298** (1993) 355-359.

- 5) Y.Kanemitsu, H.Uto, Y.Masumoto, T.Matsumoto, T.Futagi and H.Mimura:  
"Optical Properties of Free-Standing Porous Silicon"  
Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **298** (1993) 265-270.
- 6) Y.Kanemitsu, T.Matsumoto, T.Futagi and H.Mimura:  
"Visible Photoluminescence from Rapid-Thermal-Oxidized Porous Silicon"  
Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **298** (1993) 205-210.
- 7) T.Matsumoto, T.Futagi, H.Mimura and Y.Kanemitsu:  
"Initial Stage Carrier Dynamics in Porous Silicon Using Ultrafast Spectroscopy"  
Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **298** (1993) 199-203.
- 8) Y.Kanemitsu, T.Matsumoto, T.Futagi and H.Mimura:  
"Hydrogen Termination and Optical Properties of Porous Silicon: Photochemical Etching Effect"  
Jpn. J. Appl. Phys. **32** (1993) 411-414.
- 9) Y.Kanemitsu, K.Suzuki, H.Uto, Y.Masumoto and H.Matsumoto:  
"Optical Properties of Porous Silicon and Small Silicon Clusters: Search for the Origin of Visible Photoluminescence of Porous Silicon"  
Jpn. J. Appl. Phys. **32** (1993) 408-410.
- 10) H.Mimura, T.Futagi, T.Matsumoto, T.Nakamura and Y.Kanemitsu:  
"Blue Light Emission from Rapid-Thermal-Oxidized Porous Silicon"  
Jpn. J. Appl. Phys. **33** (1994) 570-573.
- 11) Y.Kanemitsu, T.Ogawa, K.Shiraishi, and K.Takeda:  
"Exciton Confinement on a Spherical Shell: Visible Photoluminescence from Oxidized Si and Ge Nanoballs"  
J. Luminescence (in press).
- 12) Y.Kanemitsu, K.Suzuki, Y.Masumoto and H.Matsumoto:  
"Optical Properties of Quasi-One-Dimensional Silicon Polymers with Different Backbone Structures"  
J. Luminescence (in press).

解説・総説

- 1) 金光義彦:  
" SiおよびGeのナノメートル量子構造の物質科学：物理と化学の接点"  
化学と工業 **47** (1994) 104-107.
- 2) 金光義彦:  
" クラスタから固体へ:光学特性を中心としたSiとGeのサイズ効果"  
応用物理 **62** (1993) 994-997.

- 3) 金光義彦, 二木登史郎, 松本貴裕, 三村秀典:  
" ポーラスシリコン: 赤色から青色発光へ"  
固体物理 28 (1993) 598-604.
- 4) 金光義彦:  
" 青く光るシリコン"  
パリティ 8 (1993) No.8, 42-44.

著書

- 1) Y. Kanemitsu, M. Kondo and K. Takeda 編著:  
『*Light Emission from Novel Silicon Materials*』  
(The Physical Society of Japan, Tokyo, 1994)