

光技術・ナノ構造・認識分子の融合による環境診断素子の開発

周豪慎

産業技術総合研究所・エネルギー技術研究部門

1. 研究のねらい:

現在環境汚染物質の検出には、質量分析等の機器分析法が用いられている。しかしながら、機器分析法は高価である上に、大掛かりな装置と大きな設置スペースが必要である。また、測定プロセスも煩雑であり、特定の施設しか使用できず、データ取得に手間や時間がかかる等問題点がある。ところが、環境汚染の実体である多岐にわたる化学物質は、空間的に分布し、時間的にも変動しているため、広領域で手軽に実時間にモニタリングする技術が求められている。そこで、我々は光通信技術などに使われる光導波路とナノ構造材料と分子認識技術に注目し、それぞれの特徴を生かして極低濃度の有害化学物質を、選択的かつ高感度に検出できるコンパクト環境診断素子を作り出すことを目指します。

2. 研究結果と考察:

本研究ではまず界面活性剤やブロックコポリマーなどの分子の自己組織的な集合体ミセルを鋳型(テンプレート)として用いて、スピんキャスト法或いはディップコーティング法により光導波路基板上に無機・有機ナノ複合薄膜を作製し、熱処理などの方法で鋳型の分子テンプレートを除去し、細孔が3次元的に規則正しく配列しているナノポーラス SiO_2 、 TiO_2 薄膜を作成した(図1)。膜厚(=約数10から数100ナノ)、細孔サイズ(=約10ナノ)、屈折率などの基礎物性を評価した上で、光導波路ガスセンサーデバイスを構築した。

光導波路は、基板となるガラスよりも屈折率を多少高くした導波層に、光を進行定在波として閉じ込め伝播させることができる光通信デバイスである。そこに導波層表面には、数百ナノメートルの領域にしみ出すエバネッセント波が存在する。そのエバネッセント波が、表面にコーティングしたナノポーラスに吸着した認識分子と相互作用すると、導波層の伝播光の強度が変わる、特定の対象化学物質に対して特異的な認識能を示す認識分子をナノ細孔に導入し、対象化学物質と反応し、特徴な吸収により、有る波長に対して伝播光の強度が大きく変わる。我々はこの光強度の変化を利用した光導波路ガスセンサーを開発している。

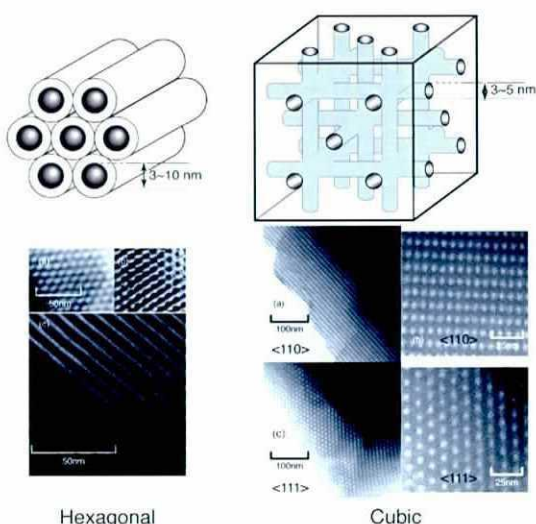


図1: ナノポーラス材料の構造とTEM像

一方、光導波路表面構造を加工制御すると電波(TE)と磁波(TM)を空間的に分離することにより、TE波とTM波の間に干渉が生じる。我々は干渉現象を利用した位相差観測に基づく光導波路ガスセンサーを開発している(図2)。しかし、表面に吸着されている分子が単分子層であり、センシングの感度が低い。そこで、ナノポーラス材料の比表面積が非常に

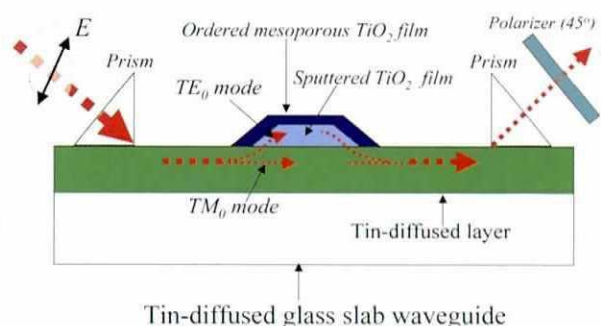
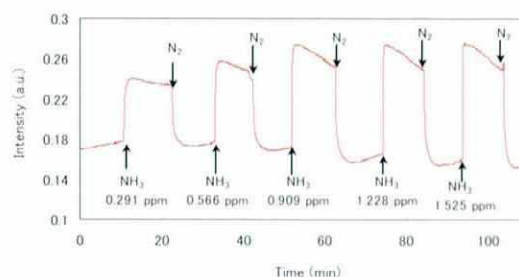


図2: 屈折率型光導波路ガスセンサーの構造



高いため(約 200m²/g から 1000m²/g まで)、

僅かのコーティングにより感度のアップが期待されている。コーティングしたナノポーラス二酸化チタンの表面には、約 10nm ぐらいのポアが均一的に並んでいることが AFM により確認された。対象ガスがそれらのポアに入り、

表面に吸着され、平衡になるまでの過程はナノポーラス光導波路センサーで屈折率の変化によりリアルタイムでモニタリングされる。

これら屈折率或いは光強度の変化というコンセプトに基づいて2種類光導波路ガスセンサーを作った。屈折率の変化により、100ppb のアンモニアを検出可能な光導波路ガスセンサーを構築した(図3)。また光強度の変化により、特定の対象分子に対して特異的な認識能を示す認識分子を導入し、100ppb ホルムアルデヒドを検出可能なコンパクト且つ高感度・高選択性光導波路ガスセンサーの開発を成功した。その他に、金微粒子の表面プラズモン(SPR)とナノ構造材料、蛋白質の融合により、SPR 湿度センサーの開発も行っています。

3. 謝辞:

本研究を進めるにあたり、御指導・御助言を頂いた花村榮一領域総括、アドバイザーの先生方、領域事務所の皆様、グループメンバーの祁志明、魏明灯に厚くお礼を申し上げます。

4. 主な発表:

- (1) Zhi-mei Qi, Itaro Honma, Haoshen Zhou, *Analytical Chemistry*, 77, (2005), 1163
- (2) Zhi-mei Qi, Itaro Honma, Haoshen Zhou, *Analytical Chemistry*, 78, (2006), 1034
- (3) Zhi-mei Qi, Itaro Honma, Haoshen Zhou, *Advanced Functional Materials*, 16, (2006), 377.
- (4) Zhi-mei Qi, Itaro Honma, Haoshen Zhou, *Applied Physics Letters*, 88, (2006), 053503
- (5) Zhi-mei Qi, Itaro Honma, Haoshen Zhou, *Optics Letters*, 31, (2006), 1854.
- (6) Zhi-mei Qi, Itaro Honma, Haoshen Zhou, *J. Phys. Chem B*, 110, (2006), 10590
- (7) Mingdeng Wei, Zhi-mei Qi, Masaki Ichihara, Itaru Honma, and Haoshen Zhou, *Chemical Physics Letters*, 424, (2006), 316