

[別紙 2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名： 山田健郎

今日、環境問題は、地球的な規模で非常に深刻なものとなっている。この解決のためには、環境負荷低減の新技术開発もさることながら、環境汚染の因果関係を明確にすることが非常に重要である。即ち、信頼性の高い環境モニタリング技術の確立が必要不可欠である。しかし、既存の測定系では、時間的・空間的に変動する汚染物質のオンサイト調査は困難である。これは、環境基準の殆どが極めて低濃度のレベルに設定されており、既存の簡易型センサーでは対応できないからである。環境基準レベルの測定能力をもつ分析装置は大型でかつ高価であり、機動性が要求されるその場観測には向かないのが現状である。この状況を改善するためには、簡易型センサーの高感度化、もしくは分析機器の小型低コスト化が必要となる。本研究は前者の達成を目指したものである。即ち、使用方法が簡便で、かつ低コストという、オンサイト測定のための当然の条件を見たしつつ、センサーの高感度化を達成することを目的とするものである。検知対象としては、数ある汚染物質の中でも、数百キロ程度と比較的狭い地域で汚染が広がり、酸性雨や光化学大気汚染の原因物質となる NO_x ガスが選択された。

センサーの高感度化のためには、微量ガス検出技術と感度増幅材料が必要である。微量ガス検出技術としては、Surface Photo Voltage (SPV) 法が採用された。これは、Metal Insulator Semiconductor (MIS) 構造を構築した半導体の表面電位を、光電流で測定する方法である。この光電流は、Metal 層や Insulator 層の変化を鋭敏に反映する。本研究では、この性質がガスセンシングに利用されている。上述の MIS 構造体中に、高いガス吸着性能を有する感度増幅材料を導入することによって、ガスセンシングの高感度化が目指された。このような感度増幅用新材料として、大比表面積多孔材料としてのメソポーラス材料が選択された。従来型の焼結酸化物を用いたセンサーにおいては、センシング機能を持つ構造体の粒径サイズが μm オーダーと大きく、比表面積が $0.5 \sim 50 \text{m}^2/\text{g}$ 程度にとどまっていた。これに対し、メソポーラス材料においては、細

孔サイズが nm オーダーであり、比表面積が 500 1000m²/g 程度にまで至るものが作製可能である。従って、上述の感度増幅用新材料として非常に有望な材料である。また、加工性においても優れていることが分かっている。

これらを踏まえ、本研究は、高感度携帯型 NO_x センサーの適した多孔構造を有するメソポーラス材料の開発と、この材料を用いた SPV 特性の評価を行っている。

本論文の第 1 章には、以上のような研究の背景と目的が述べられている。

第 2 章は、ブロックコポリマーを用いたメソポーラス材料の作製と微細構造制御を扱っている。この材料は、既存の、イオン性界面活性剤を分子鋳型に用いたメソポーラス材料よりも、大きな細孔径を有する。ここでは、ポリマー特性の操作により、この細孔径を制御することに成功している。また、窒素吸脱着等温線の詳細な解析によって、この材料が、メソ孔の他に、更に微細なマイクロ孔を有していることが明らかにされた。さらに、このマイクロ孔は、当該材料が、メソ孔の大孔径化に際しても大比表面積を維持することに寄与していることも突き止められている。

第 3 章は、第 2 章で取り上げられた材料を、ガスセンサーに組み込むための薄膜化に関する一連の研究について述べたものである。ここでは、当該材料に、前章に記述された粉末状態で有する諸性質を、薄膜状態においても、そのまま保持させることに成功している。

第 4 章は、メソポーラス薄膜を用いた SPV 型ガスセンサーの作製と NO_x センシング性能の評価を取り扱っている。センサー特性が詳細に調べられ、濃度が 100ppm-100sccm の NO、及び 50ppm-100sccm の NO₂ に対する暴露実験において、顕著なセンサー感度が得られている。また、センサー構造によるセンシング性能の相違が確認されている。さらには、より低濃度の領域 (1ppm-800sccm) においてもセンシング性が認められ、さらなる高感度化への重要な指針が得られている。

第 5 章には、本論文の研究成果と意義が総括されている。

以上を要するに、本研究の成果は、メソポーラス材料の微細構造の特性を利用して、当該材料の新規な応用分野を開拓したものであり、既存の SPV 型センサーに全く新しい実用デバイスとしての利用価値を与えるものである。これは、ミクロな構造体の持つ諸機能を統合的に扱い、実用システムを組み上げていくシステム量子工学の発展に寄与するところが大きい。さらに、この成果は、

冒頭に述べた環境問題への重要な取り組みの一つとして高く評価されるに足るものであり、環境科学のみならず、他の分野、ことに高機能性材料化学の領域への多大な波及効果を有する。

よって、本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。