

氏名（本籍地）	QIAGEDEER AIRONG
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博甲第 9786 号
学位授与年月日	令和 3年 3月 25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	Studies on Polymeric Whispering Gallery Mode Microresonators for Sensing Application (ポリマーWGM 共振器によるセンシング応用に関する研究)
主査	筑波大学 教授 博士(理学) 山本 洋平
副査	筑波大学 教授 工学博士 松石 清人
副査	筑波大学 教授 博士(工学) 所 裕子
副査	筑波大学 教授 博士(工学) 鈴木博章
副査	筑波大学 助教 博士(工学) 山岸 洋

## 論 文 の 要 旨

審査対象論文は、発光性有機分子が自己集合的に構築するマイクロ構造体を用いた新しい光デバイスの開発を課題とし、検討を加えたものである。形状の整ったマイクロ構造体が可能とする光閉じ込め効果は、共振発光やレーザー発振を可能とし、好感度センシングや光通信、光集積回路など様々な光コンパクトデバイスへの応用が実現する。とりわけ有機材料からなる光共振器は、簡便な作製プロセスや、優れた光吸収・発光特性から注目を集めている。さらに、その多様な分子構造や分子間相互作用が可能とする特異な励起状態物性は共振器に様々な光・電子機能を付与することが可能となり、これまでにない新しい光素子の構築が期待できる。本論文では、有機分子の会合状態、分子集合状態を制御することにより、波長変調可能な光共振器およびセンシング機能を有する光共振器の開発に取り組み、その物性評価を詳細に議論している。

第1章では、マイクロ光共振器に関する説明と、これまでの既報論文の内容および今後の応用展開について説明をしている。また、レーザー発振の原理や、有機材料を用いることの利点について詳述している。

第2章では、凝集誘起発光発光特性を示す分子部位を有する吸湿性ポリマーからなる微小球体光共振器の作製と、高感度な湿度センサーとしての応用について議論している。大気中の水蒸気含有量の検出は、化学反応、医療、環境アセスメントなどのさまざまなプロセスで不可欠である。これまでに開発された多くのタイプの湿度センサーの中で、光学センサーは、そのセンサー先端と検出器を物理的に接続せずに配置できるという点で特に魅力的であり、このような非接触構成により、物理的または電氣的に隔離された空間での湿度検出が可能になる。本研究では、吸湿性をもつアクリル酸ポリマーの自己組織化により、マイクロ球体を作製し、その光共振器特性が湿度変化によりどのように変化するかについて調査して

いる。外部相対湿度の増大に伴い、球体が吸湿して膨潤することで、光共振器モードが変化することを明らかにしている。詳細な解析を行った結果、これまでに報告されている光共振器を用いた湿度センサーと比較して十分に高い感度を示すことを明らかにしている。

第3章では、凝集誘起増強発 (AIEE) 光特性を示す色素ドープ高分子微小共振器による揮発性有機化合物 (VOC) センシングに関する研究について議論している。湿度に加えて、VOC のセンシングも日常生活の中で検出する必要がある大きな問題である。この章では、優れた AIEE 特性をもつ蛍光化合物 (MSB-Br) を、色素ドープ高分子微小共振器の製造用のドーピング色素として利用し、VOC 上記に晒すことによる光共振特性の変化について検討している。結果として、トルエンに対して非常に高い感度で光共振特性の変化を観測している。

第4章では、色素ドープ高分子微小共振器からの光学的に切り替え可能なマイクロレーザーエミッターについて議論している。超小型フォトニックデバイスの構築において、多波長発光と波長切り替えを実行できるマイクロ/ナノスケールレーザーの需要が高まっている。しかしながら、従来の半導体では、エネルギーバンド構造が連続しているため、単色レーザー出力しか利用できない。一方、有機材料は、一連の振動ピークの特徴により、多波長発光/スイッチに非常に役立つ。この章では、色素をドープしたポリマー微小共振器での 2 つの振動準位の競合に基づく新しい波長切り替え可能レーザーを開発している。

第5章では、本博士論文のまとめとして、ポリマーからなる WGM ベースの微小共振器と、湿度または化学蒸気の光センシングに関する結果とレーザー発振波長の切り替え特性をもつ共振器の実現についてまとめている。

## 審 査 の 要 旨

[批評]

本論文は、有機分子や高分子の会合状態や集合状態に着目し、さまざまなマイクロ構造体形成や発光色変調を実現している。さらに、作製した光共振器を用いた湿度や揮発性化学物質のセンシング応用へと展開しており、高く評価できる。光技術の発展が加速する今日、光信号により情報を扱う光集積回路実現や有機電界駆動レーザーなど様々な微小光デバイス開発に向けた研究が行われている。本研究で議論を行なっているフレキシブルな構造をもつ有機光共振器は、リソグラフィーを必要としないボトムアッププロセスにより作製可能であることから、今後、光の出力や伝達などを効率的かつ高度に制御することが可能な微小光デバイスの実現が期待でき、有機共振器を用いた新しいデバイス創生研究の発展に大きく寄与するものと考えられる。

[最終試験結果]

2021年2月18日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会(オンライン)において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

[結論]

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格

を有するものと認める。