

## 論文の内容の要旨

論文題目「物理気相蒸着により形成した有機薄膜の揮発性有機化合物 (VOC) ガス  
吸着特性」

学位申請者 大西 康貴

キーワード：真空蒸着，スパッタリング，ポリテトラフルオロエチレン，反射防止膜，  
水晶微小天秤

機能性材料の特性向上のために表面処理は重要である。表面処理を施すことにより本来の原材料にはない特性を付与することが可能である。薄膜形成も広義の表面処理であり、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法、レーザー法などの物理気相蒸着法は金属や無機薄膜の形成法として知られている。真空蒸着法やスパッタリング法による高分子材料の成膜例は報告されてはいるものの、金属材料や無機材料の成膜例と比較するとその数は圧倒的に少ない。また、これらの報告は薄膜の構造に関するものが中心であり、機能に関する報告は非常に少ない。本研究の目的は、今まで報告が少なかった真空蒸着法およびスパッタリング法といった物理気相蒸着法により高分子材料（バルク材）を原材料として有機薄膜の形成を行い、バルク材にない新たな機能の発現機構と薄膜の構造の関係を明らかにすることである。有機薄膜の機能性評価の例として、真空蒸着法およびスパッタリング法により形成した有機薄膜を利用した反射防止膜の特性評価と水晶微小天秤法（QCM）によるガス吸着特性評価を実施した。反射防止膜は透明な基材（ガラス基板や透明なプラスチックフィルム基板）への光の反射を抑えるためのコーティング膜のことであり、白色のポリテトラフルオロエチレン（PTFE）をターゲット材料にしてスパッタリングにより形成した有機薄膜は反射防止膜としての機能を有することが知られている。しかし、この有機薄膜が透明性を発現する機構は十分にわかっていない。本研究ではこの有機薄膜が透明性を発現する因子について検討した。さらに QCM は水晶振動子を利用した微小な質量の変化を測定する方法として知られている。環境汚染の状態を把握するためにガスの濃度や種類を検知することが必要とされており、身近な測定が要求されるガスの例としては揮発性有機化合物（VOC）がある。住宅に使われる建材や接着剤から発生する VOC はシックハウスの原因とされている。また塗料や印刷インキからの発生は光化学スモッグの原因の一つにもなっている。QCM ではガスを吸着する検知膜が重要であり、真空蒸着法およびスパッタリング法により形成した有機薄膜を検知膜として利用することを検討した。

本論文は以下の 5 章で構成される。

第 1 章は緒言であり、薄膜の形成方法のひとつである物理気相蒸着法について成膜例を紹介

しながらその特徴を概説した。また PTFE を原材料としてスパッタリングにより形成したフッ素系有機薄膜の光学特性について述べた。また成膜方法の違いによって得られる有機薄膜の構造の違いを生かして、QCM 法によるガスセンサ用の検知膜への利用の可能性について述べた。

第 2 章では PTFE を原材料とした真空蒸着薄膜の光学特性について述べた。最初に PTFE との比較としてフッ素を含まない汎用プラスチックであるポリプロピレン (PP) を原材料として成膜した有機薄膜の特性について調べ、次に真空蒸着 PTFE 薄膜の特性について述べた。真空蒸着 PTFE 薄膜は成膜条件により薄膜の透明性が異なる。薄膜の透明性と結晶性の関係について論じた。

第 3 章ではスパッタリングにより形成した有機薄膜の VOC ガス吸着特性について述べた。VOC、特に低分子量アルコールの吸着特性を、スパッタ PTFE 薄膜を用いた場合とスピコート PTFE 薄膜を用いた場合とで比較しながら論じた。またフッ素を含まないポリマーとしてエンジニアリングプラスチックであるポリエチレンテレフタレート (PET) 薄膜をスパッタリングにより形成し、VOC 吸着特性も調べた。スパッタ PTFE 薄膜は VOC の吸着量がほかの薄膜と比べて多いことが示された。スパッタ PET 薄膜は VOC に対する吸着量は低いですが水に対する吸着量が大きく、応答性の面でも優れていることがわかり、QCM ガスセンシング用のリファレンスセンサとして使用できる可能性を示した。

第 4 章では真空蒸着により形成した PTFE および PP 薄膜の VOC ガス吸着特性について検討した。真空蒸着により形成した PTFE 薄膜と比較として、非フッ素系の有機物である PP を用いてガス吸着特性の比較を行った。スパッタ PTFE 膜には酸素が構成元素として含まれており、水酸基などの極性成分が生成されていると推定される。この極性成分がガス吸着に影響を与えているものと考えられる。真空蒸着 PTFE 薄膜は化学的に不活性であるため、VOC をほとんど吸着しないが、PP 薄膜は僅かであるが吸着することを示した。

第 5 章では上記の知見をもとに、薄膜の成膜条件による物性の違いとそれにより引き起こされる薄膜の透明性の違い、ガス吸着との関係をまとめた。

以上、本研究は、PTFE を用いて作成した有機薄膜の光学特性とガス吸着特性について、バルク材と異なる性質を示したこと、光学特性については PTFE 薄膜の結晶性がバルク材との違いに大きく関与していると考えられること、ガス吸着特性については薄膜の化学的な分子構造、とりわけごく微量含まれる酸素による親水性の官能基が影響し、単に低密度化によるガスの吸着面積の増加ではないことを明らかにしたこと等、社会的、工業的、及び学術的に意義のあるものとする。

特に工業的には QCM 上に成膜した PET 薄膜は水を多く吸着することから、PTFE 薄膜と組み合わせることで VOC の吸着の際、誤差の要因となる水の吸着の影響を取り除く可能性を示せたことにも意義があると考えられる。