

薄膜はブラックボックスだから楽しい

—光あるところに光学薄膜あり—

東海大学 工学部 光・画像工学科 教授
室谷裕志 MUROTANI, Hiroshi
(当協会 光部品生産技術部会 協力委員)

一般的に光学薄膜は真空容器内で成膜される。そのため、そのほとんどのプロセスを直接的に見ることができないブラックボックスである。また、当たり前ではあるが成膜材料の原子・分子は、蒸発源やスパッタリングターゲットから飛び出した瞬間に消えて(実際には見えなくなって)、忽然と基板の上に薄膜として姿を現す。この過程もある意味ではブラックボックスである。理論的には平均自由行程、入射頻度、滞在時間などのキーワードとともに成膜過程は説明されているが、今でも心のどこかに「本当かな?」、「見てきたようなウソ?」等の疑惑を持っている。

この疑惑は研究に向き合った大学院修士時代に遡る。光学薄膜や光学材料の研究に携わり、会社員時代を含めて30年近くなる。最初の研究対象はコピー機の感光ドラム等に用いられる光伝導性材料のアモルファスSeにCo等の遷移金属を高濃度でドーピングするものであって、工学的な応用よりは融点差が大きい材料を均一に分散させ、金属-半導体の混合物の光物性・磁気特性などを評価する学術的な面が強い研究だった。この試料を作るには 10^{-4} Paより高真空の石英アンブル中に原料を閉じ込めて3日間ほどロッキング炉で加熱した後に急冷して作製する。当時の東海大学の指導教員であった若木守明先生や横田英嗣先生の研究室は資金的に豊かであったわけではないので、この実験系を立ち上げるために、真空装置、ロッキング炉等を自作し、ガラス細工やバーナーワークを身につける必要があった。この経験は会社員時代を通して今でも役に立っている。この研究を行っているときにも、急冷してアンブルからサンプルを取り出し断面を研磨するまで結果がわからずブラックボックスの実験であった。この時、液相-固相での拡散の理論を勉強したが、実験技術の稚拙さか、元々分散が難しい系なのかはわからないが理論通りには行かずに「本当かな?」という疑問を持ったまま卒業してしまった。

考えてみると研究や開発における多くの問題には、直接知見を得ることができないブラックボックスのようなプロセスは必ず存在し、そのブラックボックスの中身を理解することが研究や開発の成果につながるように思われる。ブラックボックスの中身を覗く方法は様々な分析手法や計測手法であるが、これらは近年急速に発達するとともに、価格も下がってきている。そのため、比較的簡単に高度な計測や分析が行えるようになってきているが、「本当かな?」と思うデータが使われていることや、発表されていることがある。これは、計測や分析の結果を「ブラックボックス」のまま受け入れてしまったために起こることである。研究や開発、トラブルの対応等では、ブラックボックスをなくして、その中身を理解しようとしているのに、なぜか計測や分析結果をそのまま受け入れてしまうことがある。あくまでも私感だが、特に高い金額をかけて分析したときにはその傾向があるように思う。

光学薄膜は「光あるところに光学薄膜あり」と言われるように、光学部品・製品の光学特性の向上を目的として、必ずと言っていいほど用いられる。しかし、光学薄膜が主役(キーデバイス)となることは光通信のWDM(Wavelength Division Multiplexing)用のフィルターなどであり、多くの場

合は光学製品の性能を向上させる脇役になっている。そのためかどうかわからないが、光学薄膜の研究・教育を行っているところは多くない。その少ない教育機関として、学生と一緒に光学薄膜の研究を行っているが、学生にブラックボックスを楽しんでもらうことがなかなか難しいのが現状である。前述したように、光学薄膜は真空プロセスが用いられるために、成膜中の真空装置の中で起こっていることは各種センサーを通して得られた情報から、想像することになる。この想像の助けとなるのが理論であり、実験であると考えている。目の前で積み木を積むように膜ができていく過程を直接見ってしまったら、工業的にはよいだろうが、学問としては何の面白さもなくなってしまう。最近の学生を見ているとなぜそのような学生が増えたのかはわからないが直線的に最短距離で、とにかく正解（もしくは正解と思えるもの）を得ることに重きを置いている感がある。そのため、成膜中の真空装置の中のような直接的に見ることができないプロセスは「ブラックボックス」のまま受け入れてしまい、ブラックボックスの中身を理解する気持ちが少ないように感じる。学生には薄膜は成膜プロセスが「ブラックボックス」だから、「本当かな？」と思いながら研究するのが面白さであることを理解して欲しいと思って接している。

最近、私の研究室ではスパッタリングと真空蒸着を同一真空容器内で同時に成膜できる装置（複合成膜装置）を開発した(図1)。この装置の特徴はスパッタリングの長所と真空蒸着の長所を兼ね備えた膜が成膜できることである。その一つの例として、機械的な特性（摩耗や剥がれ）が高い、屈折率が1.33以下の膜を成膜できることである。一般的に水の屈折率1.33より小さい屈折率を示す光学薄膜は、ナノインプリントの剣山構造や斜め蒸着等で作製できるが機械的な特性が弱く、擦ったり、超音波洗浄で剥がれたりする。しかし、我々の開発した装置で成膜した膜は拭くことも超音波洗浄も可能で、実用的な強度を持っていることが特徴である。工業的にはSiO₂膜で屈折率1.27の実用的な機械的強度を示す膜を成膜することができることに意味がある。しかし、学生にはなぜこの様な膜ができるのかを一緒に探求して欲しいと思っている。膜厚に換算するとこの装置でのスパッタリングの寄与は真空蒸着の1/10~1/100以下であるのに、スパッタリングを止めてしまうと膜の強度は得られない。また、真空度で言えば2~4桁違う成膜方法が同居して成膜が行われているので、真空容器内での圧力の分布はどうなっているのかは調べる必要がある。成膜された膜中での真空蒸着の成膜粒子とスパッタリング粒子の存在の仕方はどうなっているのか知る必要がある。これら多くの問題を「ブラックボックス」とせず中身を理解するのが研究であると思っている。この装置で成膜中におきていることは複雑で私自身も完全に理解していない、学生には先生が言ったのだからではなく「本当かな？」と思って欲しいのである。

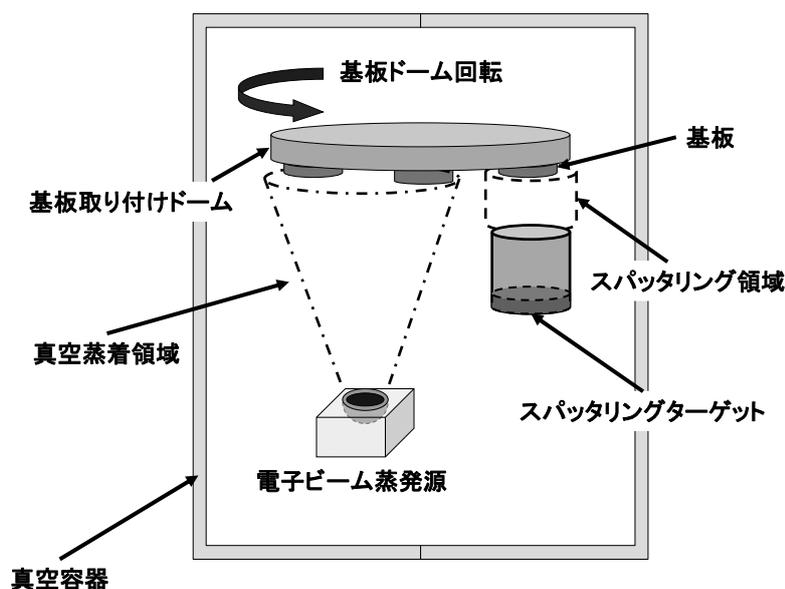


図1 複合成膜装置の概略図

現在の光学薄膜は特殊な場合を除いて、分光特性は仕様通りに作製することは大きな問題ではなくなっている。それに対して、外観欠陥の仕様は年々厳しくなっているが、その対策は難しい。その理由は結果として製品への同じような異物の付着であっても、その原因は多岐にわたるからである。外観不良に関する相談は多いときには年間 30 件を超えたことがある。製品に付着している異物は同じようなものであっても、主要因は各社異なっている。この時の分析は状況証拠の積み重ねであり、科学的な分析、工場の工程等の調査もあるが、場合によっては作業員へのヒヤリングも必要になることがある。この時にもブラックボックスとなる部分をどれだけ解明するかが、根本的な対策につながる。「ブラックボックス」をブラックボックスのまま受け入れるのか、それともブラックボックスの中身を覗いて、理解しようとするかは技術者の姿勢として大きな差があると思う。私も会社員時代は納期に追われると「ブラックボックス」をブラックボックスのまま受け入れていた。幸い、大学は納期にうるさくない仕事が多いので、ブラックボックスの中身を覗く時間がある。会社はそんな時間はないと言われるかもしれないが、「ブラックボックスの中身を覗く方法」を考える時間や「本当かな？」と疑問を持って取り組める時間を企業でも捻出してもらいたいと思う。それが、人材育成と技術の進歩につながると思う。薄膜は「ブラックボックス」だらけで、それを解明することは大変なときが多いが、ブラックボックスだから楽しいと思って欲しいと学生には言っている。

最後に世界のトップとして発展してきた日本の光産業に人材を供給する光や光学を体系的に教育する大学教育は絶滅の危機にある。個々の先生や研究室における特定の分野での研究や教育はなされているが体系的な教育を行う機関がなくなっている。今、「大学・光・学科」のキーワードでインターネットを検索すると東海大学、宇都宮大学、千歳科学技術大学、徳島大学などが学科名として検索されるが、場合によっては観光学部や観光学科の方が上位に検索されてしまう。先ほども述べたように光や光学について今も研究や教育を行っているところは多くあるが、体系的な教育ができるところが減っているのが問題なのである。受験の時に併願先が少ない学科（特徴ある学科）は受験者数が少ないのでなくしてしまえという受験産業の理論により、日本の光・光学教育は危機的な状況になっている。もう一度、学問としての立場と産業界への寄与として、教育あり方を考えて欲しいと思っている。