

# 卒業論文要旨

## ミスト流を用いた成膜対象の形状的拡張に向けた先鋭的成膜手法の開発

### The development of an advanced fabrication method of functional thin films with the mist fluent for the extension of the shape of substrates

システム工学群

川原村研究室 1200005 朝子 幹太

#### 1. 研究背景

我々は携帯電話をはじめとするさまざまな機械・機器によって便利な生活を送っている。それらは電子デバイスの高機能・小型化により実現されており、利用する人々は気付かないうちにその恩恵を受けている。それらを技術的に支えているのは機能薄膜である。その利用用途は多岐に渡り、タッチパネルに利用される透明導電膜や電子機器に利用される半導体薄膜、反射防止膜や防汚コーティングなどが例として挙げられる。これらは主に平面平板基板など2次元形状を対象とした成膜技術であるが、球面や自動車のボディ外板のような滑らかな曲面を有する3次元形状を対象とした成膜技術は少ない。さらに、機械類の形状として容易に想像するのは箱や平板、またはそれらの組み合わせであり、前述のように高機能・小型化を果たしても大きな変化はない。この点についても成膜対象が平板であるという固定概念が機器の形状を制限している要因ではないかと私は推測した。以上の観点について進歩性がある技術例を以下に示す。2020年1月16日、Mojo visionが図1のような研究開発段階のARコンタクトレンズを発表した。また報道によれば100億円以上の資金を調達しているという。この技術が注目されている理由としてコンタクトレンズという“球面形状に対する技術”である点が評価されていると私は考えた。つまりこの例においてはディスプレイという平板状の機器がその形状的制約を緩和することによって新たな価値を生み出す見込みがある。したがって従来技術にはない曲面に対する技術によって、これまで享受してない種の恩恵またはその価値を創造することができると私は考える。そこで本研究ではミストCVDを用いた成膜手法において、特に原料ミスト流を利用した曲面などの立体形状に対するダイレクトな成膜手法に関する基礎研究を行った。



Fig.1(a) AR contact lens developed by Mojo vision  
(b) A woman reports the AR contact lens. (2)

#### 2. 先行研究と目的

先行研究において、ミストCVDによってさまざまな金属酸化物薄膜の作製に挑戦し、従来の手法で作製された薄膜と同等以上の高品質な薄膜を形成することが可能となってきた。

た<sup>(1)</sup>。本研究の目的はミストCVDによる成膜対象の形状的拡張に向けた新たな成膜手法の開発である。

#### 3. ミストCVD

ミストCVDは霧状液滴を利用した薄膜成膜手法の1つである。超音波振動によって原料溶液を物理的に霧化したものを搬送ガスによって反応炉まで搬送し、その内部に格納されている基板において熱分解により薄膜を形成する。図2にそのシステムの概要図を示す。

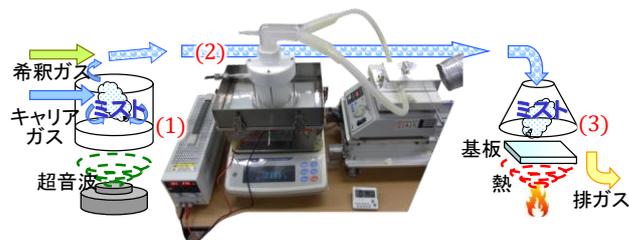


Fig.2 The overview of Mist CVD

#### 3.1 コアンダ効果

コアンダ効果とは、噴流が壁面に引き寄せられる効果である。ミストCVDによる成膜では、薄膜原料となるミストを流体として扱うことができるため、コアンダ効果をミスト流に対しても適用することが可能である。これにより、成膜対象を平面平板状に限らず成膜できると考えている。

#### 4. 曲面上への成膜：曲率と振率

これまで成膜対象として用いられてきた形状は平板状のものが多かった。本研究においては成膜対象を平板状から曲面上へ拡張することを目指している。そのために、身の回りにはあふれる“曲面”について考えた。曲面は「曲率」と「振率」という概念により成り立っている。例えば曲率のみを有する曲面は紙の折り曲げや、パイプなどの形状が該当する。そこに振率が加わると、「ねじり」という概念が加わるため球面や自動車の外板パネルのようなより立体的な曲面が表現される。

#### 5. 研究内容

本研究では、成膜対象の形状的拡張のために以下の項目に関して研究を行った。

- (1) 円筒管内壁に対する薄膜成膜装置「KAGUYA」
  - i. KAGUYAを用いた成膜実験
  - ii. 実験結果および考察による装置改良
- (2) 曲率・振率をともに有する成膜対象への拡張
  - i. 装置全体と原料供給ノズルの構想

- ii. 数値計算ソフトによるノズルを用いた場合のミスト流れのシミュレーション
- iii. 3D プリンタを用いた試作ノズルの製作とミスト噴射実験によるミスト流れの確認
- iv. 試作ノズルを用いた平面平板基板に対する成膜実験

## 6. 円筒管内壁に対する薄膜成膜装置「KAGUYA」

成膜装置「KAGUYA」は円筒管内壁を成膜対象にした薄膜作製装置である。従来技術が成膜対象としてきた平面平板基板から曲率を有する曲面上へ拡張することが主な目的である。その概要を図 4(a)に示す。この装置を用いた成膜実験から図 4(b)に示すように円筒管内壁に対して薄膜作製が可能であることが分かった。しかし、それを実現するためにミストを供給するノズルについて、その流路形状や図 4(c)に示す成膜対象に対する位置調整などの要求が非常に厳しいという結果を得た。その詳細については本文中で報告する。

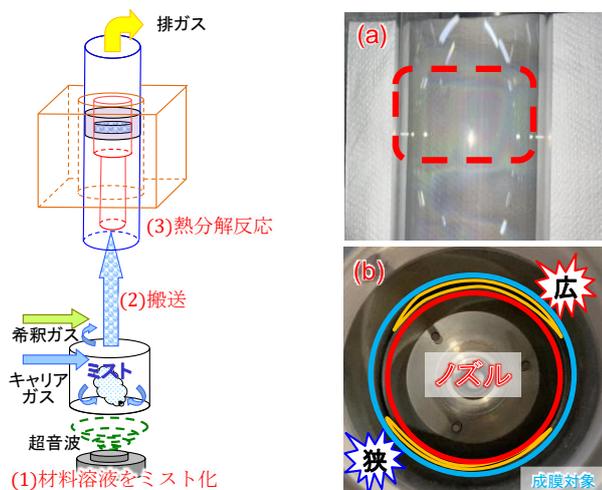


Fig. 4 (a) The overview of the fabrication system “KAGUYA” for thin films. (b)The nozzle of KAGUYA for a supply of the mist. (c)The location of the nozzle to a cylindrical substrate.

## 7. 曲率・振率を有する成膜対象への拡張

成膜装置「KAGUYA」は円筒管内壁を成膜対象にしたものであり、それらは平面を折り曲げることで表現できるものであった。前節で示した曲率を有する曲面への成膜を達成したことから、次の段階として曲率・振率を有する対象に対する成膜手法の開発に着手した。装置製作にあたり、前節「KAGUYA」を用いた実験から原料となるミスト流を制御するノズルが、均一な薄膜作製のために非常に重要な要素であることが分かったため、開発の第 1 ステップとしてノズルの開発を行った。曲面上に成膜するために考慮すべき点は従来のようにミストを平面に沿わせて流すのではなく、点状から、線状、そして面状に成膜することである。したがってノズルに要求されるのは曲面上のある点に対してミストを供給することである。これを考慮し、設計、試作したノズルを図 5(a)に示す。設計したノズルによってミスト流がどのような振る舞いを見せるのか確認するため、モデルガスである窒素ガスとして選択し、ANSYS 社の Fluent を用いた数値計算シミュレーションを行った。シミュレーション結果として図 5(b)で示すようにノズルから一直線状にミストを供給することが期待できると分かったため、成膜実験を行った。成膜実験系は平面平板基板に成膜する系を応用し、ヒ

ータ上に平板基板を置いて実験した。その概要図を図 5(c)に示す。実験結果から、薄膜による図 5(d)のような円状干渉縞を確認した。図 5(e)は干渉縞をイラストにしたもので、結果に対する考察およびそれを考慮した技術的展望については本文中で報告する。

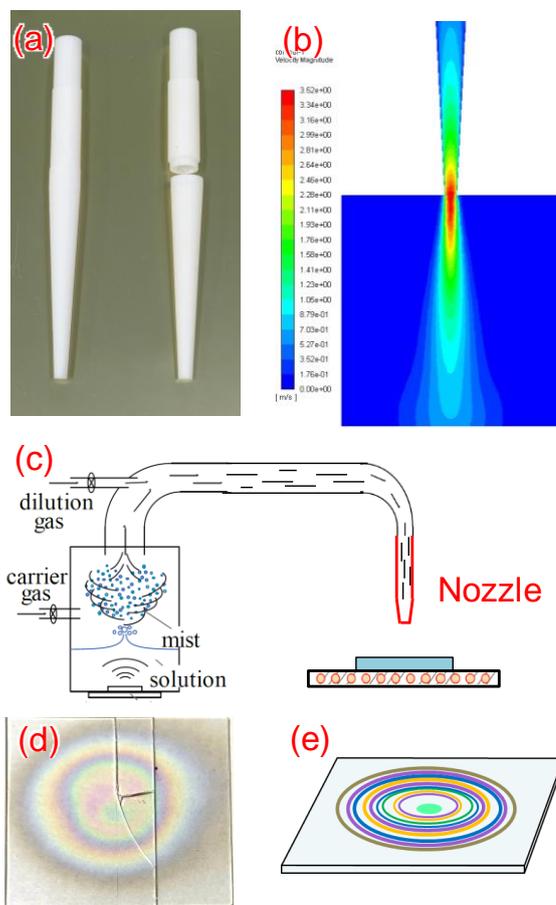


Fig.5 (a) The nozzle made by 3D printer, (b) The simulation result of the mist fluent in ANSYS “Fluent”., (c) The overview of the system, (d) The sample fabricated with a prototype nozzle, (e) The drawing of the sample

## 8. 結言

従来技術にはなかった成膜対象の形状的拡張に向けミスト CVD を用いた新たな成膜手法の開発に伴い、実際に成膜実験を行った。その結果から原料供給ノズルが均一な薄膜作製に与える影響が大きいことが分かった。また本研究において製作する装置の構想や設計、実験、解析、改良など幅広い作業分野にあたったことで計画性が全体の作業効率に多大な影響があることを痛感した。よって修士課程においても引き続き本研究に取り組む予定であるが、それらの点を留意し活動をより充実させたいと考えている。

## 文献

- (1) T.Kawaharamura: Ph.D. Thesis, Kyoto University, Kyoto (2008)
- (2) BBC: <https://www.bbc.com/news/av/technology-51137379/smart-contact-lens-it-feels-seriously-sci-fi>