

AD法による透明セラミックナノ複合膜の開発

豊橋技術科学大学 総合教育院

*1 豊橋技術科学大学 総合教育院 電気・電子情報工学系 教授

*2 豊橋技術科学大学 総合教育院 研究員

*3 豊橋技術科学大学 総合教育院 助教

武藤 浩行^{*1} 横井 敦史^{*2} Tan Wai Kian^{*3}

Development of Thick Transparent Nanocomposite Ceramic Films by Aerosol Deposition Technique

Hiroyuki Muto, Atsushi Yokoi, Wai Kian Tan

Institute of Liberal Arts and Science, Toyohashi University of Technology

1. はじめに

近年、セラミックスの高密な厚膜を成膜する手法として、AD(Aerosol Deposition)法が提案され、厚膜作製のための新たなプロセスとして注目を集め、精力的な研究が行われている^{1,2)}。当該手法では、セラミックス粉末を基板に吹き付けるだけで室温においても緻密な、つまり透明な厚膜を作製できることから、実用的な観点以外にも科学的な関心を集めている³⁾。更なる高付加価値化のために、我々のグループでは、AD法による「複合膜」の作製手法を提案している⁴⁾。あらかじめマトリックス粒子表面にナノ物質を吸着させた複合粒子をAD成膜原料

に用いることで透明なセラミックスナノ複合膜を得ることができる。本稿では、透明アルミナ厚膜内に機能性ナノ金属酸化粒子が高分散した機能性透明セラミックス複合膜の作製例について簡単に紹介する。

2. AD法による複合膜の作製

AD法の装置構成は極めてシンプルである。可動式ステージ、粉末導入ノズルを備えた真空チャンバーと外部に設置したエアロゾル発生器により構成され、エアロゾル化した粉末原料を基板上に衝突させることで成膜する(常温衝撃固化現象)¹⁾。得られる厚膜は、極めて高密度であることが報告されており、従来、高温下における焼結プロセスを用いなければ固化できないセラミックスも基板上に、透明な厚膜として成膜することができる。AD法に用いる出発原料形態は、「粉末」であり、市販で安価に入手できる粉末を用いることができる。しかしながら、

〒441-8580

愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

TEL 0532-44-6800

FAX 0532-44-6947

E-mail: muto@ee.tut.ac.jp

成膜に適した最適粒径領域が存在し、経験的には、平均粒径で 300 ~ 2000nm 程度の子の出発原料を用いれば良好な成膜ができるようである。各種のセラミックス厚膜の作製が報告されているが、その多くは、モノリシック膜であり、機能性を付与するために、膜（マトリックス）内に、ナノ物質を分散させた複合膜を AD 法により作製することは困難となる。例えば、相対的にサイズの大きなマトリックス粒子と機能性ナノ物質を同時にエアロゾル化しなければならない。図 1 (a) に示すように、サイズ比、密度比が大きく異なる両者を均一（同時に）に飛翔させることは困難な場合が多く、その結果、セラミックスのマトリックス膜内に均一にナノ物質を取り込むことができない。

本研究室では、図 1 (b) に示すように、セラミックスのマトリックス粒子に、機能を付与するための機能性ナノ物質をあらかじめ吸着させた複合粒子を用い、AD 成膜プロセスに用いることでマトリックスと添加ナノ物質は複合粒子組成で成膜されるために均一な複合膜を得る手法を提案している。

3. AD 法による熱線吸収複合膜の作製

一例として、ナノサイズの金属酸化物（酸化インジウムスズ (ITO)）が緻密な透明アルミナに高分散した近赤外線吸収厚膜の開発を行った例を紹介する。添加物として、近赤外吸収特性

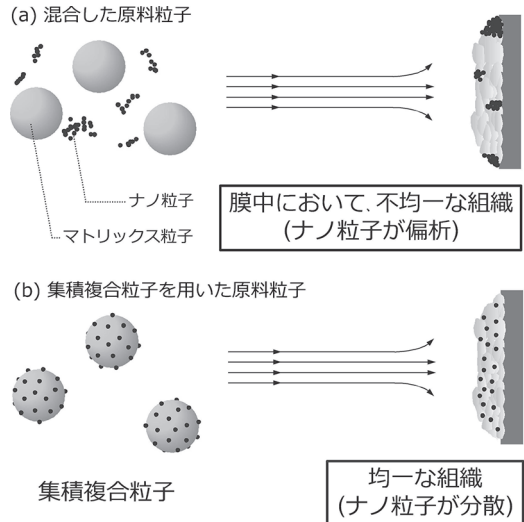


図 1 (a) 混合した原料粒子、および、(b) 集積複合粒子を原料とした場合の得られる複合膜概要図

を有する ITO（平均粒径：50nm，シグマアルドリッチ製）をナノ添加物とした複合膜の作製を行った。誌面の関係で複合粒子の作製手法に関する詳細は記載しないが、これまでに多くの種類の複合粒子を作製することに成功している⁵⁻¹⁴。ここでは、マトリックスとして、緻密体で可視光透過 AD 膜を作製できる Al₂O₃（平均粒径：270nm，住友化学製）を用いた。静電相互作用を用いて Al₂O₃ 粒子表面に ITO ナノ添加粒子を均一に吸着した、ITO-Al₂O₃ 複合粒子の SEM 像、および、厚膜の外観写真、断面 SEM 画像を図 2 (a)，(b) にそれぞれに示す。ITO-

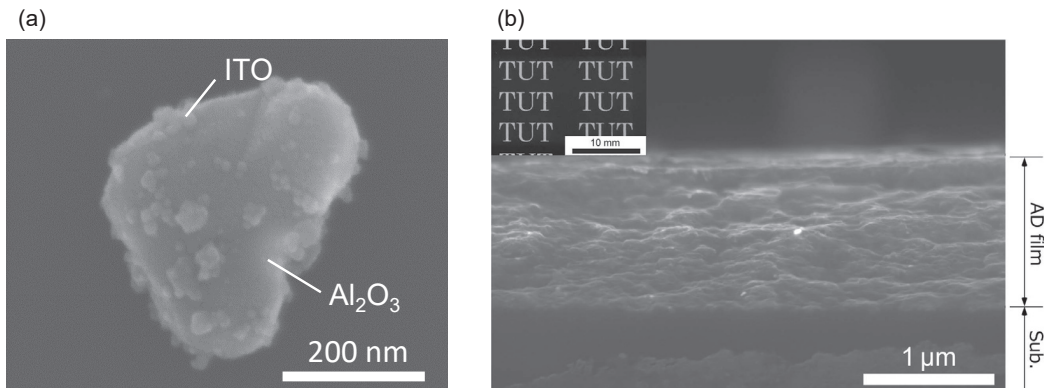


図 2 開発した ITO-Al₂O₃ 複合粒子と複合膜

Al_2O_3 複合膜は、多少の着色がみれるものの、高い透過性を示していた。この事実から、添加したナノ粒子が緻密なアルミナマトリックス内にナノレベルで分散していることが推察される。作製した AD 膜の光学特性を UV-Vis-NIR 分光光度計で測定した結果を図 3 に示す。 Al_2O_3 単体では、全領域において高い透過性を示しており、AD 法により緻密な Al_2O_3 厚膜を得ることができている。一方、作製した複合粒子を用いた場合、近赤外線領域 (800 ~ 2500nm) に ITO に起因する吸光が確認でき、可視光領域 (370 ~ 780nm) では、70 % 程度の透過率を有していることから、透明、かつ熱線を吸収する新規なナノ複合材料を作製することができている。

これ以外に、機能性ナノ物質、例えば、紫外線を吸収する CeO_2 、導電性を付与するためのカーボンナノチューブ (CNT) などで機能性透明 AD 膜の作製にも成功しており、高い透過性と機能性を両立した複合厚膜を作製する手法として有用であると結論できる。

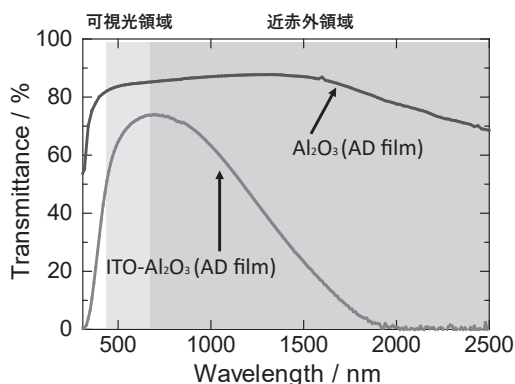


図 3 作製した ITO- Al_2O_3 複合膜の光学特性

4. まとめ

最新の厚膜形成プロセスである AD 法を用いてナノ複合膜を作製する手法に関して紹介した。機能性ナノ物質を AD 膜内に均一に取り込む手法を提案し機能性透明セラミックス厚膜を作製した例を示した。この手法を用いることで、光学特性の制御のみならず、電気伝導性、高熱伝導性、電磁波吸収などの特性を付与することも可能であり、今後、特異な特性を発現する新規ナノ物質が開発されると期待される。

文献

1. J. Akedo, Journal of the American Ceramic Society, 89(6), 1834 (2006).
2. J. Akedo, Journal of Ceramic Society of Japan, 128, 101 (2020).
3. J. Exner et al., Advanced Powder Technology, 26(4), 1143(2015).
4. W. K. Tan et al., Applied Surface Science, 483, 212 (2019).
5. W. K. Tan et al., Nanoscale Research Letters, 14, 1 (2019).
6. W. K. Tan et al., Applied Surface Science, 483, 212 (2019).
7. W. K. Tan et al., Nanomaterials, 9, 886 (2019).
8. W. K. Tan et al., Nanoscale Research Letters, 14, 29 (2019).
9. A. Yokoi et al., Nanomaterials, 10, 134 (2020).
10. 横井敦史, Wai Kian Tan, 武藤浩行, セラミックス, 53, 782 (2018).
11. 横井敦史, Wai Kian Tan, 武藤浩行, セラミックス, 55, 36 (2020).
12. 武藤浩行, Fragrance Journal, 32, 52 (2010).
13. 武藤浩行, 未来材料, 11, 52 (2011).
14. 武藤浩行, 機能材料, 32, 56 (2012).