

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	比色型バイオセンサーの応用のための大面積プラズモニックメタ表面の作製と評価
Title(English)	
著者(和文)	杉本陽祐
Author(English)	Yosuke Sugimoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第271号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:富麻 真奈,梶川 浩太郎,飯野 裕明,伊藤 治彦,三宮 工,岡本 晃一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第271号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		杉本 陽祐	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	當麻 真奈		准教授	審査員	三宮 工	教授
	審査員	梶川 浩太郎		教授		岡本 晃一	教授 (大阪公立大)
		伊藤 治彦		准教授			
		飯野 裕明		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「比色型バイオセンサー応用のための大面積プラズモニックメタ表面の作製と評価」と題し和文で 6 章より構成されている。

第 1 章「序論」では、プラズモニック色とプラズモニックセンサーの概要について述べ、本論文の目的を記している。プラズモニックバイオセンサーは、高感度な生体分子検出法として医療診断や食品・環境モニタリングなどへの応用が期待される一方、装置の小型化やコスト削減が課題となっていた。そこで、金属ナノ構造配列からなるプラズモニックメタ表面の発色（プラズモニック色）を利用した比色法が、スマートフォンなどの小型デバイスでも測定可能な技術として注目されている。しかし、プラズモニックメタ表面をセンサー基板に使用する場合、微細構造作製のコストに加えて均一性や再現性の確保が課題になる。本章では、これまでに比色型プラズモニックセンサーへの応用が報告されているプラズモニックメタ表面について概要を説明している。

第 2 章「原理」では、プラズモニック色の発色メカニズムと、それを解析するための手法について述べている。分光特性と発色との関係や、使用した色空間座標、数値計算法について説明するとともに、測定に用いた実験装置と画像の解析法の概要が述べられている。

第 3 章「PS ビーズ配列による金属ナノドームアレイのプラズモニック色」では、ポリスチレン (PS) ビーズをテンプレートとして作製した金属ナノドーム構造の光学特性について述べられている。この構造は、先行研究で比色型プラズモニックバイオセンサーのセンサー基板として使用していたが、本論文では、金属ナノドーム構造の 2 次元の凝集状態の差異によって、プラズモニック色が大きく変化することを報告している。特に、表面被覆率が 50 から 70% の間で、プラズモニック色の違いが顕著になることを示した。この結果から、金属ナノドーム構造の表面被覆率が発色を制御するパラメーターになりうることを示された。一方、比色型プラズモニックセンサーの基板としては、均一性や再現性を改善するために、別の金属構造配列が必要であると結論している。

第 4 章「モスアイフィルムで作製した金属ナノピラーアレイのプラズモニック色」では、比色型バイオセンサー応用が可能な新たなプラズモニックメタ表面として、モスアイフィルムをテンプレートとして作製した金属ナノピラーアレイを提案している。ナノインプリント法で量産されるモスアイフィルムの中から、金属薄膜の製膜によって発色する製品を探索し、金属の膜厚を調整することで発色を制御できることを示している。断面の電子顕微鏡観察と数値計算によって、金属膜厚に依存したプラズモニック色の変化のメカニズムについて考察が行われている。この章の結論として、モスアイフィルムを用いたメタ表面の作製法は再現性が高く、大面積化にも適していると述べている。

第 5 章「金属ナノピラーアレイを用いた比色型プラズモニックセンシング」では、金属ナノピラーアレイを比色型プラズモニックセンサーの基板に用いて、その性能を評価している。センサー性能の評価のため、バルク屈折率感度測定およびイムノアッセイを実施している。屈折率の異なる溶液試料を測定するバルク屈折率感度測定では、従来の金属ナノドーム構造よりも優れた屈折率感度と分解能が得られた。一方、ウサギ IgG を検出対象としたモデルイムノアッセイの実験では、センサー信号が小さくなり、金属ナノピラーの優位性は示されなかった。この結果について数値計算によるモデリングを行い、今後の課題について述べている。

第 6 章「結論」では、本研究の成果と今後の展望について述べている。工業製品であるモスアイフィルムを用いて作製した金属ナノピラーアレイが、均一なプラズモニック色を示し、比色型のプラズモニックセンサーの基板として有用であると結論している。

以上を要するに、本論文は比色型プラズモニックセンサーの基板作製の大面積化や再現性・発色の均一性の向上を実現するための新たなアプローチを提案している。これらの知見は、プラズモニックメタ表面の応用研究の発展に寄与し、工学および工業への貢献が大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値を有すると認められる。