

メタサーフェスの光センサーへの展開 Applications of Metasurfaces for Optical Sensors

物材機構 ○岩長 祐伸, 渡邊 敬介

NIMS ○Masanobu Iwanaga, Keisuke Watanabe

E-mail: iwanaga.masanobu@nims.go.jp

メタサーフェスは波面制御や多波長にわたる光線制御などにおいて特色ある光機能を実現し、新しい光材料群として広く認知されるようになってきている[1,2]。その構成物質は金属から誘電体まで多様性に富み、様々な応用展開が報告されている[3]。誘電体 Mie 共鳴により光波制御がプラズモン共鳴と遜色なく行えることが認識されるようになり[4]、Mietronics も研究分野としての市民権を得たと言ってよい状況を迎えている。本講演では、メタサーフェスの展開として光センサー[5-7]、なかでも蛍光バイオセンサー[5,6]を中心にこれまでの発展と今後の展望について述べる。

蛍光検出の高効率化のためにはメタサーフェスが優れた蛍光強度増強機能を持つことが求められる。発光増強はラマン散乱増強とともに 30 年以上にわたって追求されてきた効果であるが、大きな増強度と高い再現性（ベストデータが得られる均一性）を両立する人工ナノ構造はこれまで発見されていなかった。金の相補積層型メタサーフェスで最大 2600 倍を超える蛍光強度増強を見出し[8]、シリコンナノロッド型メタサーフェスにおいて 1000 倍を超える蛍光強度増強を見出した[9]。これらのメタサーフェスは高い再現性にも優れており、蛍光検出に特に適したメタサーフェスである。

メタサーフェスのバイオセンサー化には送液制御系との融合が必要となる。50 μL （1 液滴）程度の液性検体を定量的に測定するためにマイクロ流路チップと貼り合わせることでバイオセンサーを構成した（Fig. 1a）。マイクロ流路に外部から送液された液性検体等が流れ、標的分子を固定して蛍光測定を行った（Fig. 1b）；緑色の輝点は蛍光分子を励起する LED 光スポットである。通常測定では小型 CCD カメラで蛍光像を取得し、強度解析から標的分子の濃度を定量する。標的分子を新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）の相補 DNA（cDNA）とした例を挙げる。核酸増幅を経て、極低濃度域においてバックグラウンドノイズが非常に小さい共焦点配置での蛍光像測定を行った（Fig. 1c）。蛍光像から得た蛍光強度プロットを Fig. 1d に示す。標的分子の検出限界（ 3σ レベル、点線）は 5.86×10^{-18} mol/L (aM) と求まり、常套的な定量 PCR 法を上回る高感度検出に成功した[6b]。

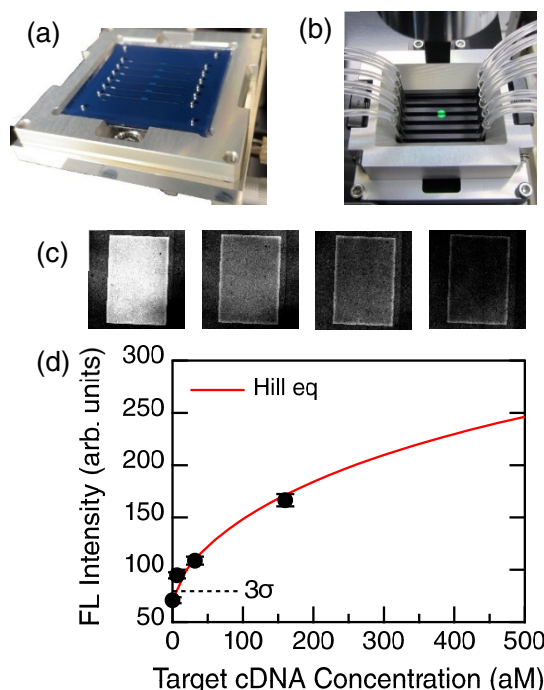


Figure 1 (a) Metasurface biosensor. (b) Detection configuration fused with microfluidic system. (c) Confocal FL images. (d) Detection curve of cDNA of SARS-CoV-2 in aM range. From [6b].

- [1] N. Yu and F. Capasso, *Nat. Mater.* **13**, 139 (2014).
- [2] P. Genevet, F. Capasso, F. Aieta, *et al.*, *Optica* **4**, 139 (2017).
- [3] For example, J. Qin, S. Jiang, Z. Wang, *et al.*, *ACS Nano* **16**, 11598 (2022).
- [4] A. I. Kuznetsov, A. E. Miroshnichenko, M. L. Brongersma, *et al.*, *Science* **354**, aag2472 (2017).
- [5] a) M. Iwanaga, *ACS Nano* **14**, 17458 (2020); b) M. Iwanaga, *Biosens. Bioelectron.* **190**, 113423 (2021).
- [6] a) M. Iwanaga and W. Tangkawsakul, *Biosensors* **12**, 981 (2022); b) M. Iwanaga, *Biosensors* **12**, 987 (2022).
- [7] K. Watanabe and M. Iwanaga, *Nanophotonics* (2023) doi: 10.1515/nanoph-2022-0565
- [8] B. Choi, M. Iwanaga, H. T. Miyazaki, *et al.*, **51**, 11470 *Chem. Commun.* (2015).
- [9] M. Iwanaga, *Appl. Sci.* **8**, 1328 (2018).