

M20250531_03_PolyU

微小マイクロレーザセンサ、スーパーチャージドバイオセンシングとなる

香港理工大学(PolyU)の研究者たちは、高感度のオンチップバイオセンシング用の 3D マイクロプリントセンサを開発した。このセンサは、ポリマウィスパリングギャラリーモードマイクロレーザに基づいており、疾患早期診断のための高性能で費用対効果の高いラボオンチップデバイスを開発する新たな機会を開く。

「将来的には、これらのウィスパリングギャラリーモードマイクロレーザセンサをマイクロ流体チップに統合して、複数のバイオマーカーの超高感度定量的検出のための新世代の lab-on-a-chip デバイスを実現できる」と、中国香港の香港理工大学(PolyU)の研究チームリーダー A. Ping Zhang は話している。「これは、ガンやアルツハイマ病などの疾患の早期診断や、COVID-19 パンデミックなどの主要な健康危機との闘いに使用できる可能性がある。」

Optica Publishing Group の Optics Letters 誌では、研究者が新しいマイクロレーザセンサの設計について説明しており、このタイプのセンサをポイントオブケア(POC)医療検査に使用できる lab-on-a-chip システムに統合することを困難にしていた多くの課題を克服している。また、このセンサのユニークなリマコン(Limacon)形状の円盤マイクロキャビティにより、血液やその他の体液によく見られる抗体、ヒト免疫グロブリン G(IgG)の非常に低濃度の検出が可能になることも明らかになった。

「この革新的なマイクロレーザセンサは、われわれの 3D マイクロプリンティング技術によって可能になった。特別に設計された 3D ウィスパリングギャラリーモードのマイクロキャビティの迅速なプリントと、吊り下げられたマイクロディスクの高精度なトリミングが可能になる」(Zhang)。

マイクロレーザセンサをチップに搭載

光ウィスパリングギャラリーモードのマイクロレーザセンサは、小さな微小共振器に光を閉じ込めることで機能する。標的分子が共振器に結合すると、レーザの周波数がわずかに変化し、高感度の生体検出が可能になる。

これらのセンサを実際のアプリケーションで使用する際の課題の1つは、光を結合するには通常、直径が $2\mu\text{m}$ 未満のテーパ光ファイバが必要になること。このような小さなファイバは、アライメントが難しく、様々な環境障害の影響を受けやすい。これは、このようなマイクロレーザセンサを lab-on-a-chip デバイスに統合して、生体分子のリアルタイムかつ高感度な検出を実現する上での障壁となっている。

マイクロレーザセンサ自体から発せられる光を利用することは、テーパ状の光ファイバで光を送達する代わりに有望な方法だが、従来のウィスパリングギャラリーモードのマイクロレーザの円形のマイクロキャビティは、光を効率的に集めることが困難。これにより、センサの信号読み取り精度が制限される。

精密バイオセンサのプリンティング

この問題を解決するために、研究チームは、リマコン型の吊り下げマイクロディスクを備えたウィスパリングギャラリーモードのマイクロレーザセンサを設計した。この設計により、センサの発振閾値は低く、指向性光放射が生成されるため、効率が向上し、オンチップ統合がより実用的になる。

研究チームは、高解像度と高い柔軟性という利点を持つインハウス 3D マイクロプリンティング技術を使用して、ウィスパリングギャラリーモードのマイクロレーザバイオセンサのアレイを迅速にプリントすることができた。実験では、バイオセンサは $3.87\mu\text{J}/\text{mm}^2$ という非

常に低い発振閾値を示したことが示された。センサは、ミリリットルあたりわずかアトグラムの制限で IgG を検出することができ、早期疾患診断に使用されるバイオマーカーの超低検出の可能性を示した。

次に、研究チームは、マイクロレーザセンサをマイクロ流体チップに統合して、複数の疾患バイオマーカーを同時に迅速かつ定量的に検出するために使用できる光流体バイオチップの開発を計画している。

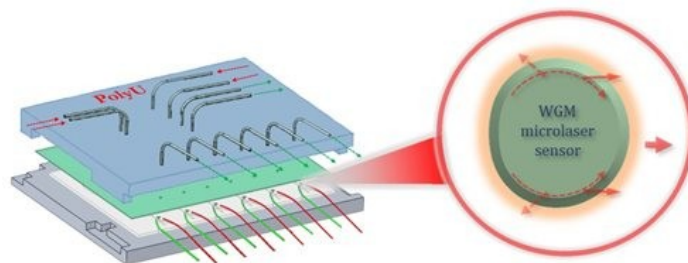


図1 新しいポリマーウィスパリングギャラリーモードマイクロレーザセンサは、lab-on-a-chip デバイスへの統合が容易で、病気の早期診断が可能になる。

(Credit: A. Ping Zhang, The Hong Kong Polytechnic University)

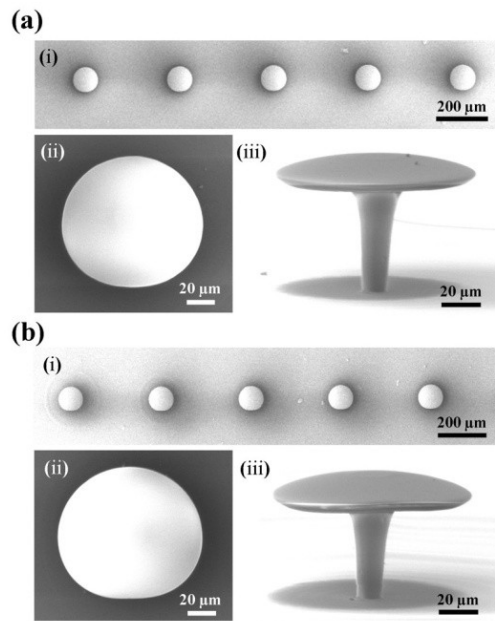


図 2 これらの走査型電子顕微鏡画像は、3D マイクロプリントされたリマコン形状の初スパーリングギャラリーモードの微小共振器で、変形量が異なることを示している。(i)マイクロキャビティの配列、(ii)単一のマイクロキャビティの拡大上面図、および(iii)単一のマイクロキャビティの拡大側面図(視野角 80°)。

(Credit: A. Ping Zhang, The Hong Kong Polytechnic University)