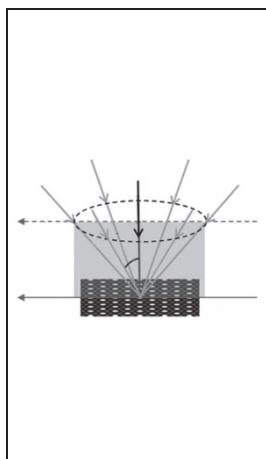


全フェムト秒レーザー加工による高感度 3次元マイクロ流体 SERS センサーの開発



理化学研究所 光量子工学研究センター
杉岡幸次

1. はじめに

大気、水、土壌、食品などに混入した有害物質は、たとえその量のごく微量であっても、人体の健康に大きな影響を与える。安全、安心、健康な社会を実現するには、これらの有害物質を高感度で検出する技術の開発が重要である。表面増強ラマン散乱(Surface-Enhanced Raman Scattering: SERS)は、ナノサイズの金属構造表面に吸着したごく微量の物質を高感度に検出する手法である^{1,2)}。金属ナノ構造を有さない基板上的ラマン散乱との比較において、SERSによるラマン散乱増強度(検出感度)は、理論的には 10^{12} 倍以上と予測されている³⁾。一方、実験的に得られる増強度は、 $10^6\sim 10^8$ 倍程度である^{4,5)}。いずれにせよ、SERSは微量物質の検出が可能であり、環境物質中に混入した有害物質の高感度検出に有効な手法として期待される。

環境物質中に混入した微量の有害物質をリアルタイムに検出するためには、分析対象物質を連続的に供給しつつSERSセンシングを行う必要がある。SERSセンサーに連続的に分析対象物質を供給するために、基板に埋め込まれたマイクロ流体構造の流路内にSERSセンサーを集積化し、流路に分析物質を連続的に導入して分析を行うことが提案されている⁶⁾。マイクロ流体チップの基板としては、多くの場合、作製が容易なことからポリジメチルシロキサン(PDMS)が用いられている。しかし、PDMS自体がラマン散乱信号を発生し、検出したい有害物質のラマン信号と干渉するといった問題がある⁷⁾。そこで筆者の研究グループは、PDMSの代わりにラマン信号を発生しないガラスをマイクロ流体チップの基板として用いることを提案し、異なる3つのフェムト秒レーザー加工技術を組み合わせる(全フェムト秒レーザー加工)ことにより、3次元マイクロ流体SERSセンサーを作製する技術を開発した⁸⁾。本稿では、作製方法、作製した3次元マイクロ流体SERSセンサーの性能、ならびに微量有害物質のリアルタイム検出に応用した結果について解説する。

2. 全フェムト秒レーザー加工技術によるマイクロ流体SERSセンサーの作製

有害物質の検出は、人体への影響を避けるため閉空間で行うことが望ましい。従って、分析物質を導入するマイクロ流体構造は基板中に埋め込み、3次元構造にする必要がある。筆者の研究グループは、これまでフェムト秒レーザーを用いて、ガラス内部に直接3次元マイクロ流体構造を形成する技術(3次元ガラス加工技術)を開発し⁹⁾、それによりバイオチップを作製して様々な生物学的研究に応用してきた¹⁰⁻¹²⁾。

3次元マイクロ流体SERSセンサーの作製においては、まず我々が開発した3次元ガラス加工技術により、ガラス内部に3次元マイクロ流体構造を作製した。具体的には、感光性ガラスにフェムト秒レーザー3次元直描を行い、熱処理を行うことにより、内部を3次元に改質する。ここで用いた感光性ガラスは、ショットガラスからFoturanガラスという商品名で販売されているものであり、アルミノケイ酸ガラスに銀(Ag)イオンとセリウム(Ce)イオンがドーピングされたガラスである。実験に用いたフェムト秒レーザーの波長は1045nmであり、感光性ガラスに対して吸収はない。しかしフェムト