

シリコン MEMS の発光・分光デバイス応用

マイクロメカトロニクス研究室
佐々木 実, 熊谷 慎也

本プロジェクトでは, MEMS 微細構造を駆使して 3 種の新しい発光・分光デバイスに取り組んだ.

(1) 光ファイバ光源との融合による機能集積する分光分析素子

広帯域なレーザー光である Supercontinuum (SC) 光が発展している. 光ファイバは, アセンブリして機能干渉することが少ない上に, 素線は外径 $125\ \mu\text{m}$ と寸法精度が高く円柱形状をもつため比較的取扱い易い. Si エッチング加工により, 光ファイバ直径程度の深さを持つ溝と, バイアスばねとを一緒に製作して, 光ファイバを精密位置決めする. 2本の光ファイバ端面間に形成したギャップにサンプルを通すことで透過型の吸収分光ができる.

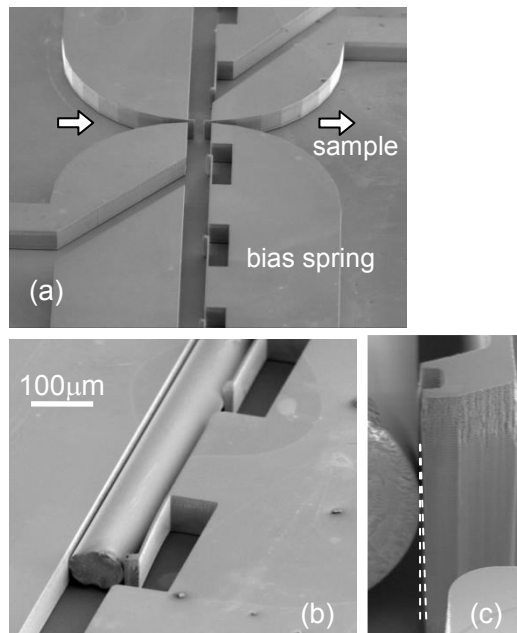


図1 製作したデバイス. (b)光ファイバを固定した様子. (c)光ファイバとバイアススプリングの接触点.

光ファイバをウェハ平面に対して垂直および平行の両方向に精密位置決めできる新

しい機構を製作した。従来のバイアスばねは垂直壁をもち面内方向の力を加える。新規のばねは、側面が逆テーパ形状で、光ファイバを上から下向きに基板平面に押さえる。光ファイバは基板平面と溝垂直壁に押し付けられて精密位置決めされる。光ファイバー一本に対して、両デザインのバイアスばねを5本ずつ計10本用意した。製作には、酸化膜の埋め込みマスク法を利用した。図1(a)は、製作したマイクロ流路とファイバガイド溝の交差部である。縦に通る直線溝（長さ約20mm）に光ファイバ2本を上下から配置する。マイクロ流路は、その中央部を横断して左右に通る。図1(b)は光ファイバを挿入した状態、図1(c)はバイアスばねの拡大写真である。逆テーパ角は約 1° であった。マルチモード光ファイバを利用し、ファイバ間ギャップを $35\mu\text{m}$ とした。逆テーパを持つ新バイアスばねにより透過率が約2倍高くなった。デバイスにPDMS膜をカバーし、閉じたマイクロ流路を得る。クロレラ細胞を含む溶液の透過スペクトルを測定した。また、バイオ分子の操作を意識した垂直壁面への電極形成については、熱電対デバイスを実現した。

(2) 波長選択赤外光源

MEMS赤外線デバイスについては、光源とディテクタの2つを発展させた。ディテクタ用に銅黒膜の成膜技術を構築し、赤外線を吸収して振動子の共振周波数が変化することを確認した。特に光源について以下の成果が得られた。赤外光源の大きな応用分野はガス分子計測である。ガス分子の多くは、固有の赤外吸収波長を持つため、化学反応性の少ないガスでも誤検出せず正確にガス濃度計測できる。現在、主に使われている黒体放射型の光源では、放射した光のほとんどがガス吸収波長と異なるため無駄にエネルギーを消費して、センサの効率を低くする。波長幅100nm程度のガス吸収波長帯に合った波長選択性が切望されている。我々は、黒体放射するマイクロヒータ近傍に、金属反射型格子を配置して、格子上を表面プラズモン(SPP)として伝搬した赤外光を選択出射する光源を提案している。図2は模式図である。下部の反射型格子と上部の反射ミラーに挟まれて、熱源から放射された赤外線は閉じ込められる。この閉じ込めは放射損失を低減し、ヒータ温度の維持に働く。但し、特定波長の光が格子に入射するとSPPを励起する。金表面でのSPP伝搬距離は可視光では数 $10\mu\text{m}$ と短いですが、波長 $4\mu\text{m}$ では3.5mm程と、赤外領域で伸びる。中央部までSPPが伝搬すると、励起の逆過程により、赤外線を外部に出射する。全体として、波長選択的な出射を実現する。波長は、格子ピッチとプロファイルによって設計できる。熱源は任意である。赤外線の放射能力は温度で決まるため、低パワーで高温領域を形成できる程、効率が上がる。

主たる熱エネルギー損失原因は、マイクロヒータ高温部から基板低温部への熱伝導であり、これを最小にするように、デバイス上の熱伝導経路を狭く長くし、熱がこもり易い構造とした。図2はデバイス構成である。出射口の開口を真ん中に配置した。高温部は、開口周辺のドーナツ状領域である。このドーナツ状領域を支える $2\mu\text{m}$ 厚のSi薄膜

を広くした。機械強度を保つため、薄膜には高さのあるリング構造を複数導入した。図3は出射スペクトルである。波長 $4.4\mu\text{m}$ に約 400nm 幅の凸ピークがある。 $4.3\mu\text{m}$ には CO_2 ガスの吸収バンドがある。ピーク強度の増加率は、周辺波長の増加率よりも高く、波長選択的な出射であることを確認した。

(3) 大気圧プラズマ真空紫外光源

プラズマを利用した真空紫外 (VUV) 光源に取り組んだ。大気圧では、放電に有利な代表長さが mm 程度となる。VUV は基底状態ガス原子の励起ができ、原子密度計測に有用である。例えば、プラズマを利用する GaN 結晶成長を適切な条件で行うには、N 原子密度を知ることが重要となる。N の発光線 (波長 120nm の共鳴線) が利用できる。ガス原子のほとんどは基底状態をとるため、VUV の減衰量を測定する方法が、活性種の密度計測に威力を発揮する。活性原子照射量が重要となるプラズマバイオ分野では、波長 130nm の共鳴線が重要となる。小型 VUV 光源が切望されている。

構成がシンプルで輝度を高くできる誘導結合型プラズマ源に取り組んできた。大気圧では点火が難しい問題に対して、ICP コイル近傍に、浮遊電極となる金属を配置する方法を見出した。放電ガスは N_2 を 0.3% 混合した He で、N の発光ピーク $120.0, 149.5, 174.5\text{nm}$ が観察された。プラズマ点灯に利用する電源周波数は電磁波の波長が $2\text{--}3\text{m}$ であり、MEMS 構造はサブ波長を意味し、デザインが重要となる。様々な構成の工夫を組み合わせ、点火が 5W 、放電維持は 4.5W を実現した。誘導結合型の大気圧プラズマで最小の値である。

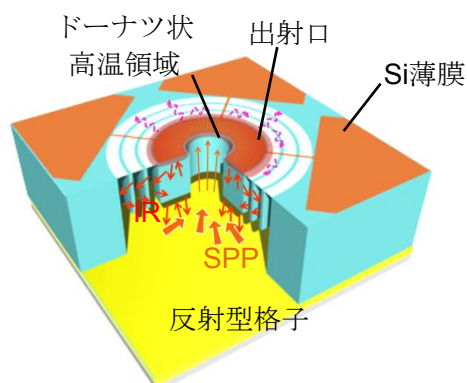


図2 薄膜型マイクロヒータを用いた赤外光源。

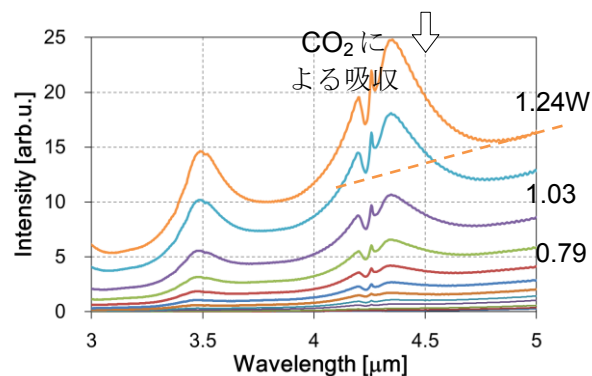


図3 赤外光源の出射スペクトル。