

# フォントラップ法による超高感度光吸収分光

寺崎 亨

豊田工業大学クラスター研究室

Photon-Trap Spectroscopy for High-Sensitivity Absorption Measurements

Akira Terasaki

*Cluster Research Laboratory, Toyota Technological Institute*

We present photon-trap spectroscopy (a generalized scheme of cavity ring-down spectroscopy) as a high-sensitivity technique for absorption spectroscopy by the measurement of storage lifetime of photons trapped in a cavity. Novel applications of the technique are discussed on (1) mass-selected ions in an ion trap and (2) molecules adsorbed on a solid surface.

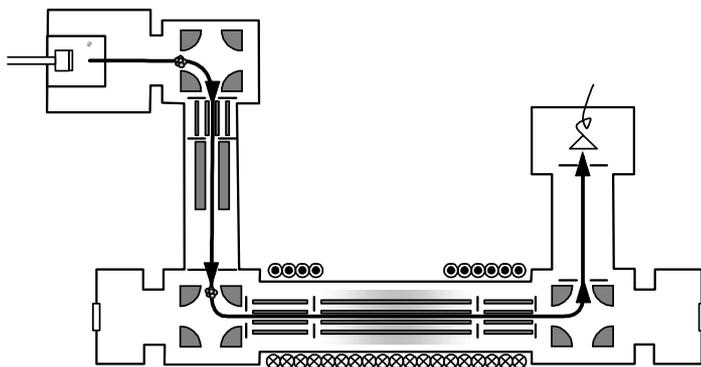
**【序】** 共振器の光閉じ込め寿命を計測して極微量の試料を感度よく検出する光吸収測定法を開発し、気相分子・イオンから表面吸着種にわたる種々の化学種の電子分光・振動分光を展開している。一連の研究で、キャビティ・リングダウン法[1]のように共振器中を往復しながら減衰するパルス光を考える従来の時間領域の見方とともに、光閉じ込め寿命を共振器の共鳴特性と捉える周波数領域の見方の重要性を指摘し、我々はこれらを統一的に総称して「フォントラップ法」と呼んでいる[2]。この分光手段を適用して、イオントラップに捕捉した質量選別イオン種および固体表面上の微量吸着種について、微弱な光吸収・磁気光学効果を捉えた実験を紹介する。

**【捕捉された質量選別イオン種の電子スペクトルと磁気光学効果】** 実験装置を図1(a)に示す。マグネトロンスパッターイオン源で発生した金属イオン(クラスター)を、八極子イオンガイド OP1、四重極偏向器 QD1 で、四重極質量フィルター MS1 へ導いた。質量選別された電流量 0.1~1 nA のイオンビームをイオントラップとして動作する OP5 に導入してバッファ He ガスとの衝突で減速し、長さ 400 mm, 内径 10 mm の空間に約  $10^9$  個 (数密度: 約  $3 \times 10^7 \text{ cm}^{-3}$ ) のイオンを蓄積した。イオントラップを超伝導磁石のボア( $\phi$  100 mm)内に挿入し、最大 5 T の可変磁場を印加した。一方、フォントラップ測定には高反射率ミラー ( $R=99.98\% @ 260 \text{ nm}$ ) で構成された長さ約 1.6 m の共振器を用い、閉じ込めた光を蓄積したイオンと相互作用させた。光源には光パラメトリック発振による波長可変ナノ秒レーザーを用いた。光閉じ込め寿命を計測して吸収スペクトルを得るとともに、光学系に偏光素子を加えて偏光回転を計測した。

実験の第1段階としてマンガン単量体イオン  $\text{Mn}^+$  を測定した。基底状態  $^7\text{S}_3$  からスピンの軌道相互作用で分裂した励起状態  $^7\text{P}_{2,3,4}$  への3本の遷移が 260 nm 近傍に観測され、各遷移には Mn 核スピン ( $I=5/2$ ) による超微細構造が現れた。さらに磁場を印加して、吸

収線のZeeman分裂とFaraday回転の検出に成功した(図1(b))。一方、共振器を用いて光ポンピングを高効率化できること(cavity-assisted optical pumping)を見出し、高強度の円偏光でMn<sup>+</sup>のスピンの偏極に成功した[3]。

Mn原子のスピンは小さなサイズのクラスターイオン (Mn<sub>2,3</sub><sup>+</sup>) において強磁性結合することが示唆されており[4]、反強磁性体である固体Mnとは対照的なクラスターの特異な磁気特性を直接的に捉える磁気共鳴タイプの実験を今後展開する。



**【表面吸着種の赤外スペクトル】** フォトントラップ法を固体中や表面上の微量物質に適用する際に特に問題となるのが、固体表面での反射損失である。我々は光学的に平坦で透明な固体基板を光軸にちょうど垂直に挿入し、反射光を共振器モードに戻して損失を免れる手法を考案した。固体基板が挿入された共振器の特性を詳細に検討し、共振器の位相条件が測定の最適化において重要であることを見出した[2,5]。

実際に、Si(100)表面上に成膜したオクタデシル鎖(C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>)単分子膜の赤外スペクトルを測定し、C-H対称および反対称伸縮振動に帰属される2854、2924 cm<sup>-1</sup>の吸収ピークを約5 ppmの感度で捉えた。但し、連続発振レーザーを用いたため、試料は共振器内に形成された定在波と相互作用する。この際、試料が波長に比べて極めて薄いため、挿入位置が定在波の腹か節かによって光吸収量が大きく異なることを見出した。つまり、光との相互作用が無い節位置では、光吸収が消失した(吸収体の透明化)。さらにこの位相効果を利用すると、表面吸着種と固体内部の不純物の寄与とを分離できる。

本研究は(株)コンポン研究所の研究プロジェクトの一環として行われた。

[1] A. O'Keefe and D. A. G. Deacon, *Rev. Sci. Instrum.* **59**, 2544 (1988).

[2] 寺寄、江頭、近藤：分光研究 **56** (2), 62 (2007).

[3] T. Majima, A. Terasaki, and T. Kondow, in preparation.

[4] A. Terasaki et al., *J. Chem. Phys.* **114**, 9367 (2001); *ibid.* **118**, 2180 (2003).

[5] A. Terasaki, T. Kondow, and K. Egashira, *J. Opt. Soc. Am. B* **22**, 675 (2005).