

# 高 Q 値共振と誘導ラマン散乱

電気通信大学電気通信学部電子物性工学科  
白田研究室 高沢 準

## 1 . 共振器の説明

本実験では微小球共振器を用いた実験を行っている。微小球共振器とは、球の媒質と外部との屈折率の差により生じる全反射を利用して光を内部に閉じ込める共振器のことである。(図1参照)共振器のQ値は次の式で計算できる。

$$Q = \frac{\omega}{\Delta\omega} = \omega\tau \quad \text{①}$$

ここで  $\omega$  は光の角周波数、 $\Delta\omega$  はその線幅、 $\tau$  は光の強度が共振器内で  $1/e$  になるまでの時間を表す。

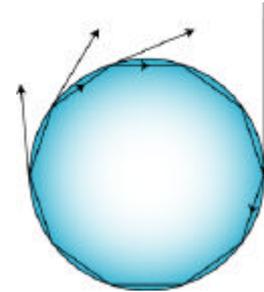


図1：微小球共振器

## 2 . 背景

これまでに微小球共振器の実験として、液体水素ドロップレットでの実験を行ってきた。これは水素液滴を微小球共振器として用いることにより、水素の特性を生かした高 Q 値共振器の作成が目的であった。図2の写真は細管に液体水素を通し、先端で液滴を作成している様子である。

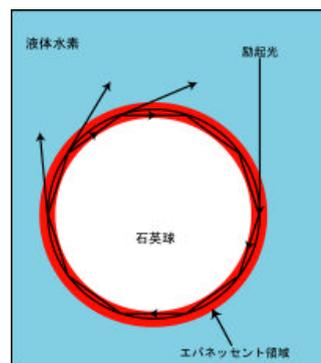


図2：液体水素  
ドロップレット

この実験で得られた結果は、超高 Q 値共振器であること(実験値で  $10^9$  以上)と、高次にわたる誘導ラマン散乱が発生し得ることである(ストークス側に十数次、アンチストークス側に5~6次)。ただ残念なことに球は液体でできているので、入射光に用いるレーザーの局所的な発熱のために球の形が変化してしまう。微小球共振器は形態依存性共鳴を特性とする共振器のために、球の形が随時変化してしまうのは好ましくないのだ。

## 3 . 実験概要

本実験では2で述べた問題を解決するために、発想の逆転をした。つまり球に液体水素ではなく、石英を用い、その外部に液体水素を張り巡らすのだ。(図3参照)この方法により液体水素の特性を生かして、前の実験の利点である超高Q値を実現しようというものである。



実験目的はこの実験方法で本当に高Q値が得られるのかを検証することである。そのために石英球にレーザーを入射し、液体水素の誘導ラマン散乱を発生させる。

発生の仕組みは、次のようなものである。まず光が石英球に入射する。1で述べたように球に入った光は全反射を繰り返しながら内部を周回するのだが、実はこのときに Evanescent と呼ばれる領域に少しだけ漏れ出している。漏れた光は外部にある液体水素と相互作用するため、ラマン散乱が生じるのだ。

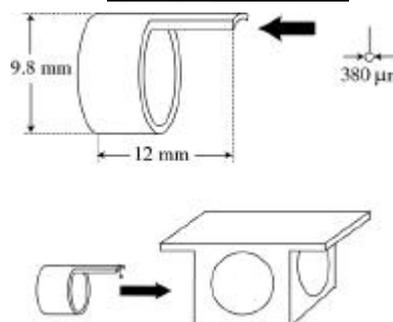
図3：石英微小球  
 光の場 : Evanescent 波  
 非線形媒質 : 液体水素  
 光共振器 : 石英球 (高Q値)

#### 4. 実験装置

まず、石英球の設置だが、これは手製のアルミチューブの先にあらかじめ用意していた直系380μmの石英球をスタイキャストで固定した。球を固定



したアルミチューブは観測用の光学セル内に挿入し、ワニスで固定しておく。(図4参照)



光学セルは Cryostat と呼ばれる冷却装置内で、最低約4K程度まで冷やされる。液体水素は Para 水素を用い、液体の状態で行われる温度(約15~16K)で維持しておく。

光学系は図5に示した。レーザーは Nd:YAG の第2高調波である532nmを用いた。ビーム径は10

図4：石英球の取り付け

0μm以下に絞っている。入射方向前方には長距離顕微鏡を設置し、CCDカメラによって画像を撮影した。また垂直方向には分散型分光器を設置して誘導ラマン散乱のスペクトルを測

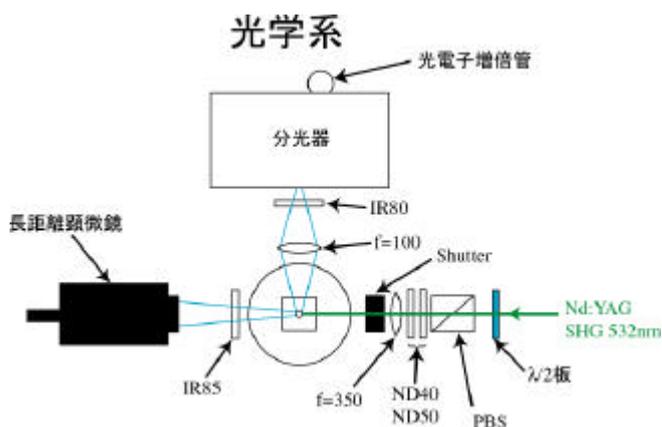


図5：光学系

定した。

## 5 . 結果

得られたデータを図6に示す。左下の図中のピークは波長が約683nmであり、右下は約952nmである。これらはそれぞれ液体水素のラマン散乱光の1次と2次の波長に一致する。ラマン散乱は光と散乱媒質が長く相互作用しないと発生しないことから、この結果には球の高Q値を指示する意味が含まれていると考えられる。特に2次のストークス光の発生はかなり有力なデータだと思われる。図6の上2つの図はレーザーの入射位置を変えて、場所によってラマン散乱強度がどのように変わるのかをプロットしたものである。(図7の画像参照)このデータによると2次光は球外部、つまり単に液体水素に光を当てただけでは発生しないことが確認できる。

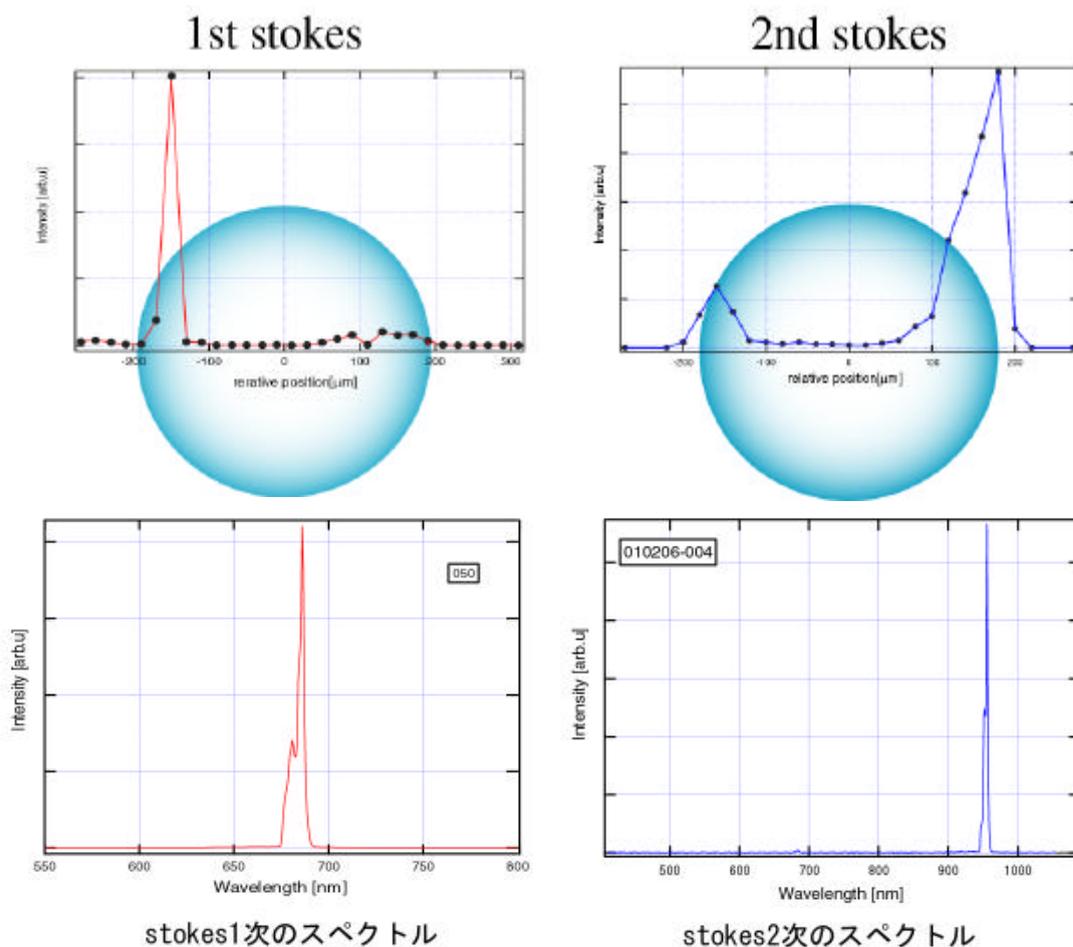
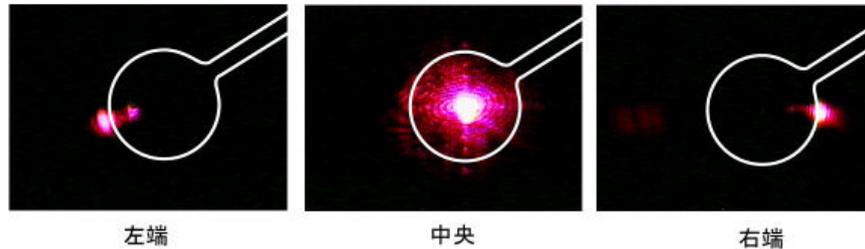


図6：スペクトル

### 1st stokes の映像



### 2nd stokes の映像

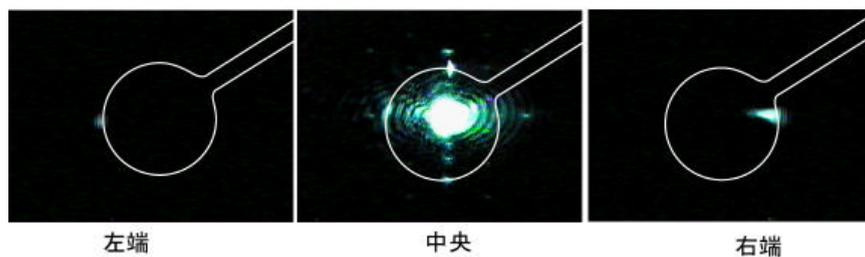


図 7：レーザー入射の様子

尚、図 7 の写真で球の右端と左端の画像から、ラマン散乱が空間的に局所的に生じていることが分かる。これも光が球内部を周回していることを示すデータではないかと考えられる。

## 6 . 今後の展開

今回の実験では画像とスペクトル以外に決定的な実験データが得られなかった。本来はラマン散乱の時間波形を測定し、 $\omega$  の式から球の Q 値を見積もって、超高 Q 値であることを示したかったのだが。装置分解能の問題で、それは困難であった。

今後の方針として、入射レーザーの液体水素との相互作用効率を上げるために、ファイバカップリングを検討している。これにより入射レーザーの球表面での反射や、弾性散乱などのロスをかなりおさえることが出来ると思われる。