

3P010 反射型ミリ波共振器の開発とラジカル種への応用

(九大院理¹・分子研²) ○原田賢介¹・林雅人²・田中桂一¹

Millimeter wave resonator for the sensitive detection of radical species.

(Kyushu University¹, IMS²) Kensuke Harada¹, Masato Hayashi², and Keiichi Tanaka¹

A millimeter wave resonator has been developed for the sensitive detection of the transient species. The finesse of 350 was obtained around 100-300 GHz region, which corresponds to the 350 round trip optical path. The resonator was combined with the supersonic jet spectrometer to detect jet cooled species. The internal rotation transition of (ortho) H_2 -HCN was detected with the signal to noise ratio of 20. The performance and applications of the millimeter wave resonator will be discussed.

通常、分子の核スピン（オルト、パラ状態）を変える遷移は禁制である。我々はビニルラジカルD化物 H_2CCD で、この核スピン変換を起こす相互作用を多重反射(10往復)光学系を用いたミリ波ジェット分光法により決定し報告した。この相互作用による核スピン変換遷移の強度を見積もると、現在使用している多重反射セル(10往復)より1桁高感度な検出系を用いれば核スピン変換遷移を観測できると予想される。高感度を達成するには光路の往復回数を増やし、有効光路長をのばす必要がある。我々は、このためミリ波共振器の製作と改良を進めている。反射型ミリ波共振器の原理を図1に示す。ミリ波はビームスプリッターで反射させて入射する。共振後、出力光はビームスプリッターで反射されて検出器に入射する。

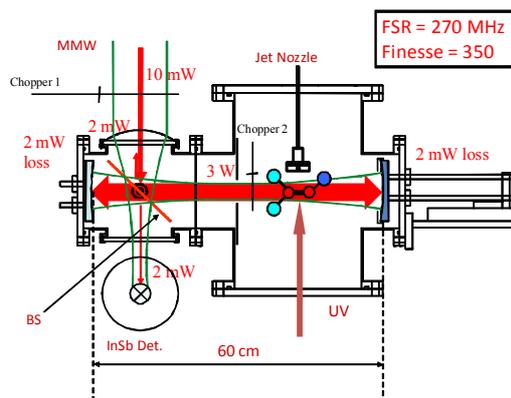


図1. 反射型ミリ波共振器

ミリの波はビームスプリッターで反射させて入射する。共振後、出力光はビームスプリッターで反射されて検出器に入射する。

ビームスプリッターにPETフィルムを用いると、100 GHz 付近で FSR は 270 MHz、共振幅は 760 kHz、フィネス $\nu/\Delta\nu$ は 350 の特性が得られた。共振器にミリ波を 10 mW 入射した場合を考える。共振すると共振器にパワーがトラップされる(~ 3 W)ため、入射パワーの 20%しか検出器に入らない。この状態で分子の吸収が起こると共振が減少するため、検出器に入射するパワーが増大する。単光路と比べ原理的には 350 倍の感度が得られる。しかし実際に超音速ジェットノズルを動作させると噴出圧力によりビームスプリッターが振動し検出系のノイズより 10 倍大きいノイズが観測された。ビームスプリッターとして 1 mm 厚 Quartz 板を用いると材質の僅かな吸収により 100 および 270 GHz 領域でフィネス 150 および 71 に低下した。図2に(o) H_2 -HCN 分子錯体の分子間振動遷移の時間応答を示すが、ジェットパルスのトリガから 150–500 μ s 付近に観測される振動ノイズは消失し、 H_2 -HCN のシグナルが S/N 20 で観測されている。またフィネス 71 の条件では共振幅が 3.8 MHz あるので共振幅内で周波数掃引してシグナルを観測できる。

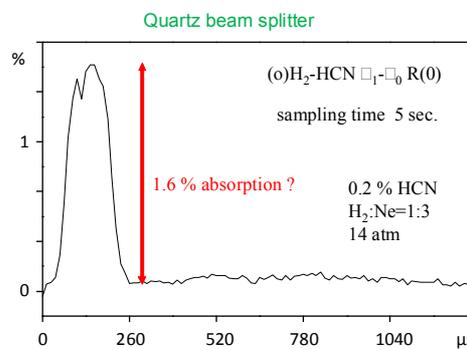


図2. (o) H_2 -HCN の分子間振動遷移の時間応答

ビームスプリッターとしてPETフィルムを用いた場合、共振器内のミリ波パワーが3 W程度になるため HCN のような遷移モーメントの大きな分子では飽和幅が 2 MHz まで広がった。Quartz ビームスプリッターでフィネスが 71 の場合、HCN の線幅は 0.4 MHz であり大きな飽和広がり観測されなかった。

試作器によるこれらの測定結果をもとに、性能を改善した 2 号機(図 3)を製作している。共焦点型で共振長は 650 mm、固定鏡は 152 φ、可動鏡は 76 φ、曲率半径はいずれも 610 mm で面精度 1/4 λ のアルミコート球面鏡である。入射光を図の様に集光して左右非対称な共振ビーム形状を用いる。観測領域のビーム直径が太くなるため飽和幅を 1/4 に減少させることが出来る。これにより多くの分子で飽和幅の影響が 500 kHz 以内になる。ビームスプリッターには 0.3 mm 厚 Quartz 板を用いる。中央に横モード調整用の虹彩絞りを配置する。可動鏡はボールねじを用いた小型リニアアクチュエーター(0.02 μm 分解能)を真空中に設置して 0.5 μm 刻み(共振周波数で 40 kHz 刻み)で駆動する。固定鏡、可動機構を含む可動鏡、ビームスプリッター、虹彩絞りは図のように枠に固定する。

反射型共振器は通常の透過型共振器に比べ鏡の材質やコーティングは通常の方がよいが、ビームスプリッターの汚れや、振動が重要な問題になる。OROTRON 発振器の共振機内で測定を行う方法は、100 往復に相当する感度が報告されているが、発振器の磁場のためラジカル種には適用されていない。

Quartz ビームスプリッターを用いた場合の予想される共振特性を図 4 に示す。周波数 200 GHz で FSR = 231 MHz, Finesse = 150, 共振効率 70% と見積もられる。共振幅が 1.5 MHz ほどあるので、周波数変調法を検出に用いることができ、線幅内で周波数掃引可能である。感度は多重反射セルの 15 倍程度と見積もられる。現在ビニルラジカルのオルトパラ遷移の観測を目標に、装置の改良および観測テストを進めている。

ミリ波共振器は、飽和分光による超微細構造の分離や、cyclopropyl, SiH₂ など遷移モーメントの小さいラジカル種の観測、ラジカル種のオルト・パラ変換遷移の観測、OCS⁺, BrCN⁺ などイオン種の観測にも有効と思われる。

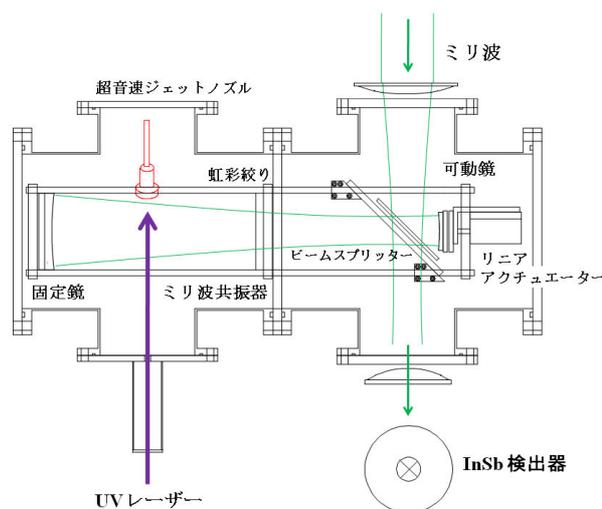


図 3. 新型ミリ波共振器と光学系の写真

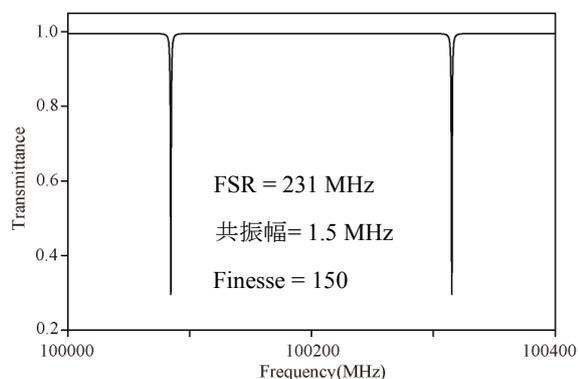


図 4. 予想される共振特性