

【序論】

我々はミリ波分光用多重反射(10往復)ジェットセルを用いてビニルなどのラジカル種の回転遷移や He-HCN などの分子クラスターの分子間振動遷移を観測し報告した。さらに高感度な測定を行う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。本研究ではミリ波共振器を用いた超音速ジェット分光装置を開発したので報告する。

【共振器型ミリ波ジェット分光装置】

製作したミリ波共振器を図1に示す。ミリ波分光用共振器は、主鏡径130φ、共振長600mmの共焦点型共振器をビームスプリッターを挟んで10インチ真空容器中に設置した。共振長はパルスステージでコンピューター制御した。真空容器は既存の大型拡散真空ポンプで排気した。活性種を含む分子錯体を効率よく生成するため光解離及び放電ジェットノズルを製作し図のように配置した。この方法は多重反射セルと比べ、①ノズルから近い分子の濃度が高い所にミリ波ビームを集光するため高感度が得られる。②ミリ波共振器を用いるためはるかに長い有効光路長が得られる。

【反射型共振器の原理】

共振器の FSR (Free Spectral Range)は共振長  $l = 560 \text{ mm}$  とすると、 $\text{FSR} = 268 \text{ MHz}$  となる。平面波  $\phi_0 = E_0 \exp(ikx - i\omega t)$  を入射し屈折率  $n$  のビームスプリッターに TM 波を  $45^\circ$  入射したときの振幅透過率を  $T$ 、反射率を  $R$ 、ビームスプリッター内部より外部にでるときの透過率を  $T'$ 、反射率を  $R'$  とする。主鏡の反射率を  $r$  とする。共振器の出力光を  $\phi$  とすると

$$\phi / \phi_0 = \{ TT' - (TrTT'rT) \exp(i2kl) \} / \{ 1 - (TrTT'rT) \exp(i2kl) \}$$

となる。 $|\phi / \phi_0|$  を観測周波数に対してプロットして共振器の共振特性を計算したものを図2に示す。ミリ波領域のアルミ鏡の反射率を 99.9% ( $r = -0.9995$ ) と仮定しビームスプリッターの反射率・透過率はビームスプリッター(OHPシート)の屈折率を  $n=1.2$  とし  $R = (n-1)/(n+1)$ 、 $R' = (1-n)/(n+1)$ 、 $T = 2/(n+1)$ 、 $T' = 2n/(n+1)$  として計算した。フィネスが 200 と見積もられ、共振が起こると 70%の出力変化が起こると予想される。

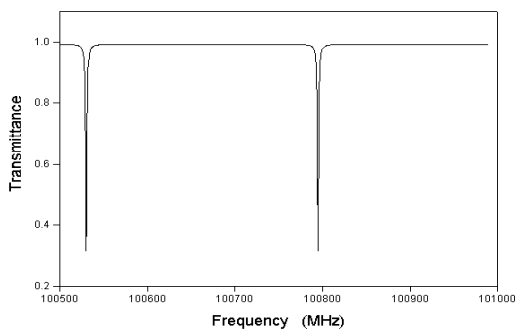


図 2. 計算された共振特性

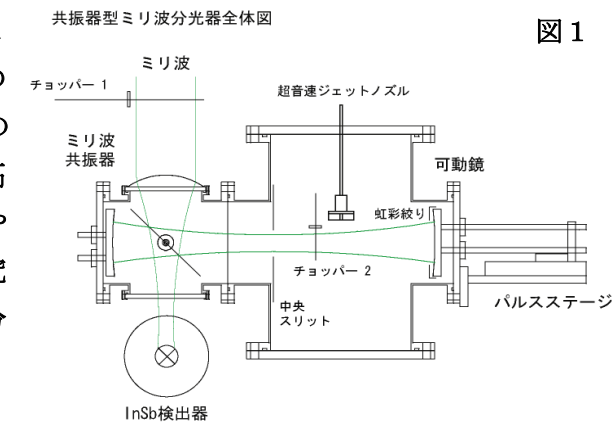


図 1

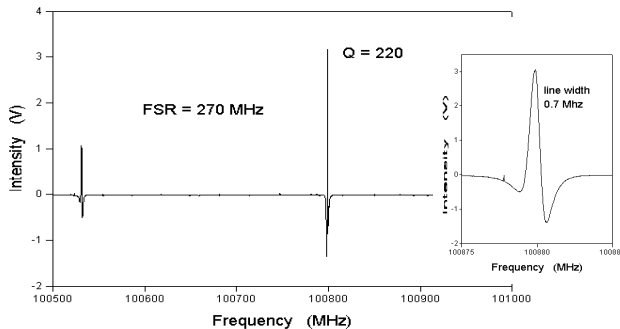


図 3. 実測の共振特性

### 【共振器型ミリ波分光装置の性能と考察】

ミリ波共振器の共振特性を測定した。光源には BWO 発信器を用いた。InSb 検出器の前置増幅器は直流特性を持っていないため光源に周波数変調をかけて PSD で  $2f$  検波して測定した。100500 ~ 101000 MHz の領域を掃引して観測された共振特性を図 3 に示す。共振ピークの拡大図も合わせて示した。FSR は 270 MHz であった。またピーク

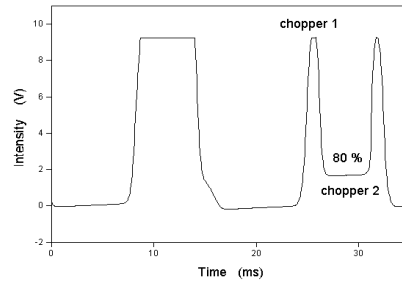


図 4. チョッパーに対する応答

の線幅は 760kHz である。これよりフィネス  $\nu/\Delta\nu$  は 355、よって共振器の Q 値は 355 と見積られる。次に共振器の効率を測定するため図 1 のように装置にチョッパーを挿入し入射ミリ波をチョッパー 1 で、共振しているミリ波をチョッパー 2 で ON-OFF したときの検出器の出力を図 4 に示す。周波数変調は用いず前置増幅器の出力を直接記録したものである。横軸は時間である。25msec でチョッパー 2 が遮っているときにチョッパー 1 が開くと検出器では入射ミリ波の全パワーが検出されるが、26msec でチョッパー 2 が開くと共振器中で共振が起こるため検出されるミリ波出力は 80%減少した。32msec でチョッパー 2 が閉じると再びミリ波のパワーは入射パワーと等しくなる。チョッパー 1 が閉じるとミリ波出力は 0 となる。チョッパー 1 と 2 は異なる周器で回転しているため図のような波形となる。共振器の Q 値が 355 で、出力効率が 80%なので、原理的には単光路で観測する場合と比べ 284 倍の感度が得られるはずである。次に分子のスペクトルを実際に観測した。HCN を 0.3%含む He ガスをパルスジェットノズルより高真空中に吹き出した。ミリ波の共振周波数を HCN 分子の J=1-0 回転遷移に固定し吸収の時間応答を測定した。結果を図 5 に示す。共振のピークで減少していたシグナルが HCN の吸収が起こると、長い光路長のため 100%吸収となり、チョッパー 2 で切った時と同様に、共振していないときのミリ波出力のレベルまで出力が回復しているのが分かる。次に 1/100 の吸収強度を持つ  $\text{H}^{13}\text{CN}$  分子の J=1-0 回転遷移に共振周波数を固定し、周波数変調をかけて観測した時間応答を図 6 に示す。PSD 出力が飽和するような強いシグナルであったが、サンプル噴射後 20 msec ほどの間ベースラインに大きなノイズが表れた。このノイズは積算しても消すことが出来ない。これは超音速ジェットを噴射したときの圧力によるビームスプリッターの振動によるノイズと考えられる。現在  $\text{H}_2$ -HCN などの分子クラスターの測定を行いながらノイズ低減のための改良を進めている。

【謝辞】 この研究は科学研究費補助金基盤研究(C)により行われた。ミリ波共振器の開発は九州大学極低温実験室で、部品の製作は九大理学部附属工場で行われた。協力に感謝する。

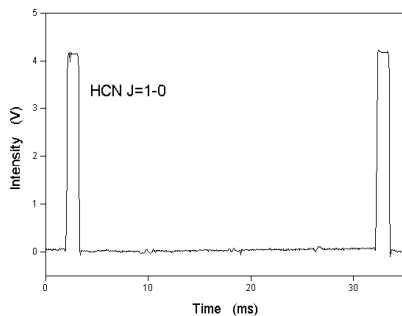


図 5. HCN の J=1-0 遷移

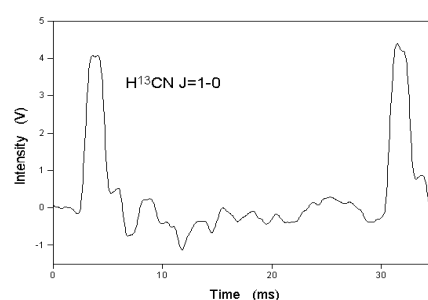


図 6.  $\text{H}^{13}\text{CN}$  J=1-0 遷移