

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 光励起サプリミ波分子レーザー  |
| Author(s)    | 山中, 正宣  |
| Citation     | 大阪大学低温センターだより. 1974, 8, p. 9-11   |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/4819">https://hdl.handle.net/11094/4819</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

# 光励起サブミリ波分子レーザー

工学部 山 中 正 宣 (吹田 4655)

極低温の磁気光学研究用の強力な単色光源として、従来の放電励起の $\text{H}_2\text{O}$  や $\text{HCN}$  レーザーにとってかわりつつあると言われている光励起のサブミリ波分子レーザーの現状と特徴を、簡単に紹介しよう。

$\text{CO}_2$  レーザー、 $\text{N}_2\text{O}$  レーザーや $\text{HF}$  レーザーと言った赤外レーザーによって、低い圧力の分子気体を直接に光励起すると、励起振動状態内の回転準位間に分布逆転を生ぜしめることになり、サブミリ波領域 ( $\lambda = 15\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ ) でレーザー発振を起させることができる。1970年以来、この技術に基づき、 $\text{CH}_3\text{F}$ 、 $\text{CH}_3\text{OH}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{D}_2\text{O}$ 、 $\text{OCS}$ 、 $\text{CH}_3\text{CN}$ 、 $\text{O}_3$  等合計22の分子より $19\mu\text{m}$ から $1.8\text{mm}$ の波長範囲で420余本のレーザー線が観測されている。表Iには、CW- $\text{CO}_2$  レーザーで励起した場合得られる強力なCW発振のレーザー線の例を掲げた。レーザー線のほとんどは、励起振動状態内の回転遷移に相当している。しかし、基底振動状態内の回転遷移に相当するレーザー線もあり、また $\text{NH}_3$  レーザーのように反転遷移に相当するものもある。

励起光源としては、回折格子を備えた $\text{CO}_2$  レーザー、 $\text{N}_2\text{O}$  レーザー、 $\text{HF}$  レーザーが使われている。レーザー系の中心部はサブミリ波の共振器であり、それは $10 \sim 1000\text{ m Torr}$ の圧力の分子で満たされており、上述の赤外レーザーでもって軸方向あるいは横方向より光励起される。最も一般に使われている通常の共振器は、共振器長が $1\text{ m}$ であって、フレネル数が1よりも大きな半球面配置であり、共振器同調機構を備えている。励起光と出力光は結合孔を通じて、出入り出来るようになっている。多くは半球面配置が用いられ、励起光を2つの鏡の間で多重反射させて励起光が効率良く分子に吸収されるように設計されている。極く最近では、非常にコンパクトな導波管レーザーも報告されており、実際 $6\text{ mm ID} \times 50\text{ mm}$ までの超小型レーザーが試みられている。この小型レーザーは従来の放電励起 $\text{HCN}$  レーザーに比べて体積比で $1/1000$ あるいは $1/10000$ にすぎない。一方、導波管を用いると励起光が管壁で反射され、とじこめ効果があるので、同一の励起入力に対しても通常の共振器よりも出力はかえって増大する。このようにしてCW出力 $40\text{ mW}$ 、つまり量子変換効率10%までが観測されている。ところで、鏡のない気体セルを用い、 $\text{HF}$ 、 $\text{CH}_3\text{F}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{D}_2\text{O}$ 等の分子より超放射が得られており、最大出力は $496\mu\text{m CH}_3\text{F}$ の $0.1\text{ MW}$ である。

励起光束が直線偏光していれば、光励起サブミリ波レーザーからの出力も直線偏光する傾向にある。つまり、その偏光面は関係する遷移の型に依存しており、励起ビームの偏光面に垂直、あるいは平行である。

先に述べたように、光励起レーザーの出力は大きいですが、これに加えて、光励起サブミリ波レーザーは放電励起サブミリ波レーザーよりも優れた下記のような特徴をもっている—(a)電気放電を使わないので放電に伴うふらつき、熱ドリフトや分子の解離がない、(b)外部から偏光素子を挿入せずして直線偏光した出力が得られる、(c)出力の変換効率が大きい、(d)非常に高い利得をもっている、(e)コンパクトな sealed device をつくれる可能性がある。そして、励起用レーザーにも導波管を用いて系全体をコンパクトにできる(実際に試みられている)。

光励起サブミリ波レーザーでは、励起用レーザー線と分子の狭い吸収線とが偶然に一致した場合のみレーザー発振が得られるわけであるが、高い励起パワーの下では飽和広がりによりそのスペクトルの互の一致性が相当緩和されることがわかっている。さらに、スタルク同調を行って分子の吸収線を励起レーザー線のところへ引き込んできてレーザー発振を達成している例もある。このようにして、レーザー線の数は多くなりつつあるが、究極的には連続波長可変のレーザーを励起光源として使うことである。そうすれば、サブミリ波での発振線の数が数桁以上増加することは明らかである。

光励起サブミリ波レーザーは有用な光源(表I参照)であるばかりでなく、このレーザーの作動を通じて、今まで詳しいデータが不足していた分子の励起振動状態の研究が、高感度で精密な吸収-放出分光学によって可能となった。つまり、吸収線と放出線の周波数の絶対値を正確に測定することが可能であり、また遷移のタイプに対する手がかりがサブミリ波出力の偏光の方位より得られる。同一分子から得られる異なったレーザー線の間データの相関より、互に重なり合っている振動バンドに関する遷移を分離することができ、このようにして、精密な分光学的データを得ることができる。

光励起サブミリ波レーザーは発振線数が多く、出力が大きく、しかも安定であることから、すでに極低温の磁気光学分光学に応用されている。さらに、プラズマ発生や加熱への応用も考えられている。光励起サブミリ波レーザーは、この外、プラズマ診断、イメージング、距離測定、天文学、通信等への応用が考えられている。

光励起サブミリ波レーザーは、もし励起用の赤外レーザーをもっていれば、作製が容易でしかも安価であることから、各国で研究されている。我国においても、1972年夏に阪大において初めて発振を達成し、ついで名大でも発振に成功している。また、物性物理学の研究を行っている各大学の研究室でも試作されつつあるようである。技術的なことであるが、励起光源のCO<sub>2</sub>やN<sub>2</sub>Oレーザー用のブリュースター窓材やレンズ用として、ZnSe(chemical vapor deposition でつくられ、 $\lambda = 0.50 \sim 22 \mu\text{m}$ まで透過し、 $10.6 \mu\text{m}$ での吸収係数は $\alpha \leq 0.006 \text{cm}^{-1}$ と小さい)が米国で普及している。特に湿気が多い我国においては、湿気に強いZnSeは丁度良い物質と思われる。さらに、ZnSeは $1 \text{KW/cm}^2$ 程度のパワーにも耐えることができ、また、 $0.6328 \mu\text{m}$ のHe-Neレーザー光を透過するので光学系のalignmentが楽にできるという利点がある。

以上述べてきた様に、光励起サブミリ波分子レーザーは種々の優れた特徴をもち、しかも、安価に作

製することができる。従って、今までレーザーそのものの研究にたずさわる機会のなかった低温研究者でも、容易に自作でき、それを駆使して、極低温のサイクロトロン共鳴吸収や反強磁性体の共鳴吸収等の研究を行うことができるのであろう。このように、光励起サブミリ波分子レーザーが極低温の物性物理学の研究に応用されることは、レーザーそのものの研究にたずさわっている者にとって大きなよこびであり、今後も援助をおしまないつもりである。

表I CW-CO<sub>2</sub> レーザーで励起した場合得られる強力なCW発振のサブミリ波レーザー線の例。波長範囲は37.5 $\mu$ mから1814.4 $\mu$ mまで及んでおり、極低温の磁気光学研究用の強力な単色光源として有用であらう。

| 波長( $\mu$ m) | 分子                                   | 波長( $\mu$ m) | 分子                                   | 波長( $\mu$ m) | 分子                               |
|--------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|
| 37.5         | CH <sub>3</sub> OH                   | 251.9        | CH <sub>3</sub> F                    | 496.1        | CH <sub>3</sub> F                |
| 40.2         | "                                    | 277          | CH <sub>2</sub> OHCH <sub>2</sub> OH | 512          | HCOOH                            |
| 41.7         | "                                    | 369.1        | CH <sub>3</sub> OH                   | 520          | CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub> |
| 70.1         | CH <sub>2</sub> OHCH <sub>2</sub> OH | 372.7        | CH <sub>3</sub> F                    | 532          | CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> |
| 70.6         | CH <sub>3</sub> OH                   | 372.9        | CH <sub>3</sub> CN                   | 554          | CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>  |
| 95.8         | CH <sub>2</sub> OHCH <sub>2</sub> OH | 388          | HCOOH                                | 568          | "                                |
| 117.1        | "                                    | 392.3        | CH <sub>3</sub> OH                   | 570.5        | CH <sub>3</sub> OH               |
| 118.8        | CH <sub>3</sub> OH                   | 393.6        | HCOOH                                | 647.9        | CH <sub>3</sub> CCH              |
| 118.9        | CH <sub>2</sub> OHCH <sub>2</sub> OH | 414          | "                                    | 713.7        | CH <sub>3</sub> CN               |
| 147          | CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>      | 415          | CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>      | 864          | CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>  |
| 170.6        | CH <sub>3</sub> OH                   | 428          | HCOOH                                | 1174.9       | CH <sub>3</sub> CCH              |
| 192.8        | CH <sub>3</sub> F                    | 458          | CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>     | 1221.8       | C <sup>13</sup> H <sub>3</sub> F |
| 197          | CH <sub>2</sub> OHCH <sub>2</sub> OH | 492          | CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>     | 1814.4       | CH <sub>3</sub> CN               |