



半導体レーザーの分光への応用

大井 みさほ

計量研究所 〒305 挨城県新治郡桜村梅園 1-1-4

半導体レーザーは、その材料や材料の組成によって、 $0.6\sim30\text{ }\mu\text{m}$ の広い波長域で発振可能であり、He-Ne レーザーなどに比べるとかなりの広範囲で波長可変であること、スペクトル幅が数 MHz と狭いことなどから、高分解能の分光用光源として、種々の応用がなされている。

使われているレーザーを大別すると、III-V 族化合物半導体の AlGaAs, InGaAsP などの $0.6\sim2\text{ }\mu\text{m}$ のレーザーと、IV-VI 族化合物半導体の PbSnTe, PbSnSe など、いわゆる鉛塩半導体の $2\sim30\text{ }\mu\text{m}$ の赤外長波長レーザーのグループとなる。前者が室温で使用でき、価格も安いのに対し、後者は高くて液体窒素温度程度、多くはもっと低温に冷却しなければならず、価格も非常に高い。しかし、前者が分光よりは光通信、光ディスクなどが主用途であるのに対し、鉛塩半導体レーザーは分光への応用が主用途であるといってよい。また、波長域から考えても、窓材や検出器が違うなど、装置もかなり違ったものになる。

これらのレーザーを使って分光を行なうには、まず、目的の波長に合ったレーザーを選ぶ必要がある。そういうものの、波長を特定の値に設定して製作することは困難で、たとえば原子のある特定のスペクトル線を観測したいときには、いくつものレーザーのなかから選ぶことになる。また赤外の場合には対象が分子スペクトルであるので、非常に多くあり、とくにどの線をと指定しない場合には入手しやすい。スペクトラ・フィジックス社の鉛塩レーザーであれば、波数を 4 析指定し、かつ値段に違いがあるが可変波数範囲を 10 cm^{-1} とか 50 cm^{-1} というように指定して入手できる。富士通の鉛塩レーザーも同様であって、4 析の波数と可変波数範囲を指定する。現在国内で使用されている鉛塩半導体レーザーはこの 2 社のものがほとんどである。

半導体レーザーの波長を掃引するには、電流または周囲温度のどちらかを固定し、もう一方を掃引する。簡便さやレスポンスの点から電流を掃引することが多い。鉛塩レーザーでは液体窒素用のデュワーで窒素温度に固定

して使うか、あるいは He 冷凍機などで 15K くらいに冷やし、ヒータの電流制御によって所定の温度にするなど、冷却装置を必ず用いる。室温で使える III-V 族半導体レーザーでも、分光に利用する場合には、温度を制御する装置が必要になる。ペルチェ素子を使った装置などがよく用いられる。分光のためには電流の掃引あるいは固定も必要である。とくに目的によっては、もっと積極的にレーザーの波長を安定化する必要があり、たとえば吸収スペクトル線を基準にフィードバックにより安定化を行なう¹⁾。レーザーの波長の連続掃引はモードホッピングによって妨げられる。この欠点はレーザーの外側のへき開面と回折格子とで外部共振器構成をとる方法によってある程度は改善される。たとえば AlGaAs レーザーで $3.0\sim4.5\text{ nm}$ 程度に連続可変範囲が広がっている²⁾。

半導体レーザーを分光へ応用することによってなされている具体的な仕事は、1)種々の分子の分光、2)分光の基準とするためのスペクトル線の波長や周波数の測定、3)対流圏や成層圏など広範囲の成分の測定、4)工場や自動車エンジンなど公害成分の測定、5)光ポンピング用光源、等である。5)については Rb や Cs に用いられている³⁾。

これらレーザーを光源とした分光法は、もっとも一般的なのが普通の吸収分光である。すなわち、気体の入った吸収セルなどに光を通し、その吸収波形を観測する。その例を図 1 に示す。図 1 は $7\text{ }\mu\text{m}$ の CH_4 の ν_4 バンドのスペクトルのごく一部で、PbSnTe レーザーの電流掃引によるものである。図の下部に示した干渉縞は掃引の程度を示すために光路に Ge エタロンを挿入して記録したものであり、山と山の間隔が 0.048 cm^{-1} ($1,440\text{ MHz}$) に相当する。レーザーの出力は電流などでかなり変化するので、吸収スペクトルのバックが図のように変化してはまざい場合もある。それをさけるためには、また弱い吸収を観測するためには、信号の 1 次や 2 次、あるいは 3 次微分の波形にして観測するとよい。微分波形の検出にはレーザーの電流に微小振幅の変調成分を重畠するの

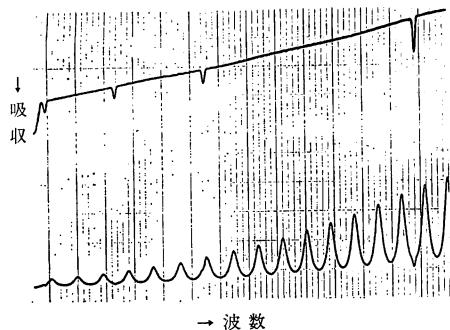


図1 PbSnTe レーザーによる $7 \mu\text{m}$ 域 CH_4 スペクトルの観察の一部
上は左から $1,355.341 \text{ cm}^{-1}$, $1,355.468 \text{ cm}^{-1}$,
 $1,355.633 \text{ cm}^{-1}$, $1,356.049 \text{ cm}^{-1}$. 下はエタノンによる干渉縞.

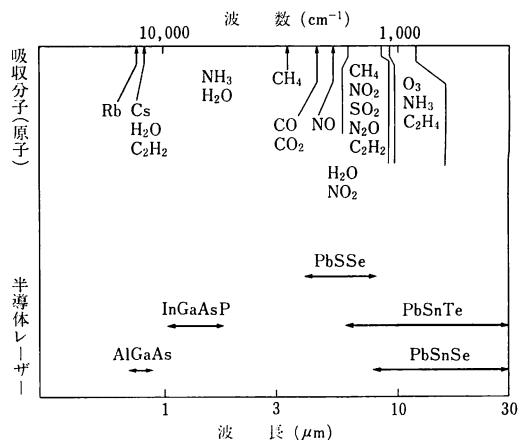


図3 分光に使われるおもな半導体レーザーと対象となる気体の波長域

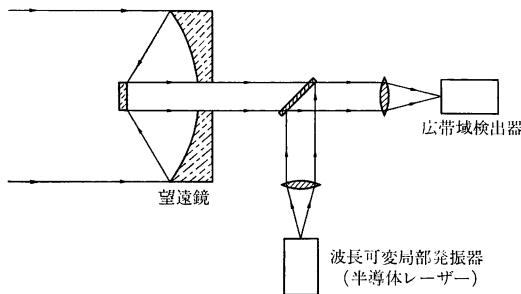


図2 ヘテロダイイン分光法の原理図

が簡便である。このようにしてなされる分光の分解能は $3 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ (約 10 MHz) 程度になる。

上述の吸収分光法のほかには光音響分光法にも光源として半導体レーザーが利用される⁴⁾。試料の入ったセルに光を断続的に入れると吸収があれば熱作用によってセル内部に音波が発生するのを検出する。また、とくに赤外の長波長半導体レーザーは、これを局部発振器としてヘテロダイイン分光に用いられる⁵⁾。地球の成層圏など遠方での吸収を背景雑音の影響を受けないで検出できるという特徴をもつため、また長波長ほど通常の検出器での直接検波の検出能力はわるくなるのに比べ、ヘテロダイ

ン検波の検出能力はよくなるので、赤外ヘテロダイイン分光計の試作があちこちでなされているが、半導体レーザーの出力が十分に大きくないなどむずかしい点も多い。また、二つのレーザー間でのヘテロダイインによる赤外の周波数測定にも用いられている。図2はヘテロダイイン分光法の原理図である。

分光に使われているおもな半導体レーザーと対象となる気体とを波長(波数)を横軸にして図3に示した。III-V族半導体の対象となるスペクトル域の分子の吸収は一般に弱いので、長い吸収セルがふつうは必要である。

文 献

- 1) 波長安定化については次に多くの例が紹介されている。
田幸敏治, 大津元一, 土田英実: 応用物理, 52 (1983) 407.
- 2) S. Sampei, H. Tsuchida, M. Ohtsu and T. Tako: Jpn. J. Appl. Phys., 22 (1983) L 258.
- 3) M. Arditi: Metrologia, 18 (1982) 59.
- 4) 光音響分光法については
沢田嗣郎編: 光音響分光法とその応用—PAS, 日本分光学会, 測定法シリーズ1 (学会出版センター, 東京, 1982).
- 5) D. Glenar, T. Kostiuk, D. E. Jennings, D. Buhl and J. Mumma: Appl. Opt., 21 (1982) 253.

(1983年11月28日受理)