

的。一种可用来得到 10~100 微微秒范围内的脉冲的技术是利用频率选择元件，例如衍射光栅放在腔内，目的是为了阻止振荡器的光谱线宽<sup>[84]</sup>。因为脉冲长度是光谱宽度的傅里叶变换量。足够地压缩光谱宽度结果会使脉冲变长。

到目前为止，只报导了这种类型的较大系统之一，输出脉冲能量 20 焦耳，脉冲宽度  $10^{-11}$  秒或者输出功率为  $2 \times 10^{12}$  瓦。

### G. $10^{-12}$ 秒脉冲

已经报导短到  $2.5 \times 10^{-13}$  秒的脉冲<sup>[238]</sup>。这种脉冲相当于 1.06 微米光的七十个波长左右。为了直接得到这样短的脉冲宽度，必须要一个光谱宽度较宽的激光材料。玻璃中荧光光谱宽为 200 埃(到 3 分贝点)，假如这个线宽能被有效地利用的话，那么这暗示有可

能得到约 0.2 微微秒的脉冲宽度。

空穴-烧穿实验直接指示 70 埃的有效线宽相当于一个脉冲宽度为  $\frac{1}{2}$  微微秒<sup>[6]</sup>。利用 Nd-Yb 玻璃的较宽的发射谱线大体上可实践比较短的脉冲一个对微微秒脉冲作啁啾技术\*的压缩<sup>[86]</sup>，将更加减短脉冲的宽度。对于亚微微秒脉冲进行外啁啾技术作用，继续进行压缩<sup>[199]</sup>最后可得到短到几周的脉冲。

报道过的微微秒时间范围内的最大能量是 51 焦耳，脉冲宽度约 3 微微秒<sup>[87]</sup>，是目前为止所报道过的最高尖峰功率激光，尖峰功率为  $17 \times 10^{12}$  瓦。(未完待续)

取自 C. G. Young, *Proc. IEEE.*, 1969 (July), 57, No. 7, 1267~1276.

\* Chirped, Chirping——啁啾技术，此字乃借用无线电中用语。

## 优质光-电晶体的生长

### 块状半导体中的光效应

用适当波长的光照射半导体晶体，发现载流子密度有所增加，因此，晶体电导率就增高：

$$\sigma = q(\mu_e n + \mu_h \cdot p),$$

其中  $\sigma$  是电导率，

$q$  是电子电荷，

$\mu_e$  是电子迁移率，

$\mu_h$  是空穴迁移率，

$n$  是电子密度，而

$P$  是空穴密度。

载流子密度增加的过程示于图 1。图中示出了半导体的带结构，它具有  $E_g$  电子伏特的能隙或禁区。有两个光源的辐射射到晶体上。光频  $f_1$  足够高，其光子能量  $hf_1$  比能

隙稍大。这能量转递给价带中位置一上的一个束缚电子，这电子就被激励至一高能态，即导带中的位置一，成为自由的载流子。价带中位置一上遗留下来的空穴也获释成为载流子。

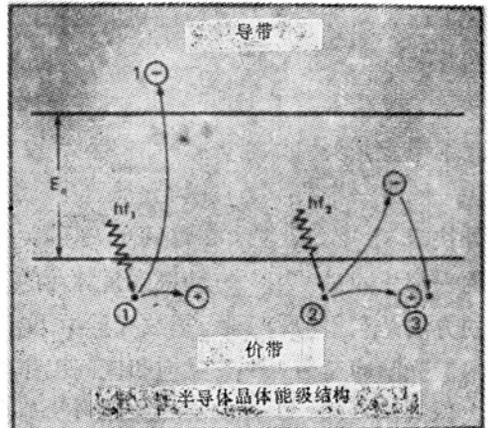


图 1 半导体中的光效应

低频光的光子能量  $hf_2$  比带隙小，从价带中位置二上获释的电子将上升到禁区中的一个能级，其结果不过是释放这能量，掉回价带，与位置三上的空穴复合。

上述讨论意味着，能隙  $E_g$  代表响应光的阈。但这阈并不是断然的。在整个光激励过程中，动量守恒定律是成立的。空穴-电子位置的密度和动量在价带和导带中部有最大值，在两个带的上端和下端降到零。因此，一个受激的价带电子在导带中寻找有相等动量的位置的几率在两个带的中心最大，而在带的两端最小。因此，发现晶体对于入射光的响应，当光子能量由  $E_g$  电子伏特变到某一较高能级时，由零上升到一峰值，然后，当能量相当于价带底和导带顶之间的差值时，又降低到零。

响应是能量、因而是频率的函数，它常常能表示成频率的倒数的函数，或更确切地说，是波长的函数。对于硒化镉晶体，图 2

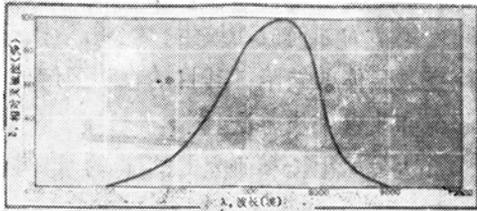


图 2 硒化镉的光谱响应。

举出了一个例子。根据目前掌握的材料，认为这种曲线具有对称性似乎是合理的，是陷阱中心和其他吸收现象影响了曲线的形状。

加入杂质之后，块状半导体的光学响应能够改变。加添受主杂质（将使块状材料变成  $P$  型）的结果，出现一些杂质能级，其位置稍高于价带的顶。光激励过程可在这些杂质能级和导带之间发生，其结果一般说来是光谱响应曲线发生移动和变形。响应曲线与此相似的改变可归因于  $N$  型材料中施主杂

质能级的出现。

## 晶体生长的研究

光-电子学技术中使用的晶体须具备特殊的性质，而非线性光学装置的成功发展是与在研究适当的单晶的生长和物理性质方面所取得的进展有关系的。例如，在电-光效应（即在电场作用下，介质的折射率发生变化）方面，自激光器出现以后，就非常强调优质晶体的研究，因为激光的很多应用都与调制有关。

优质晶体必须易于生长成高质量的，这样在装置中才能达到完善的性能，这就对化学药品制造者提出了严格的标准，使能提供适合的原材料，以保证这些晶体的成功生长。用这些材料生长成的晶体须具备下述基本特性：高透明度，无散式杂质所引起的散射中心，以及无化学杂质所产生的吸收带。而且，这些晶体在光学性质上必须均匀，或折射率没有变化，没有应变。显然，欲使高纯度材料产生预定的结果，一件相当重要的工作便是考虑何种杂质最为恰当。必不可少的工作是考虑：晶体中出现的那几种缺陷是原材料引起的，以及所用的生长方法的影响如何，因为同一种原材料用不同方法生长所得的晶体的性质可能有很大的变动。例如，斯托克巴格技术的特点是慢慢冻结熔化物，使杂质上移，最后除去，因而杂质的排除非常彻底。相反，恰克拉斯基法是以较高的速度从熔化物中上引晶体，因而杂质的排除不够彻底。

不列颠药品有限公司已开展大量工作，研究制造合格的原材料。目前已生产出一百多种化合物商品，供制备各种优质单晶之用。

一种生产合格的原材料的方法是在与最

后生长相接近的条件下生长产品，这样，可用斯托克巴格法生长不纯的晶体，割去上面不纯的部分，然后用下面已纯化的部分重新生长优质单晶。该公司已用这种方法生产适合于生长淡红银矿（硫砷酸银， $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ ）的原材料。淡红银矿是一种双折射材料，在0.6和13微米之间透明，具有很大的非线性极化率。已用这种材料来进行上转换，即用激光器进行和频，使红外信号转换为可见的。

由于很多硫化物在红外区的透过率增高，它们都成了最有希望的具有光-电子学效应的材料。除淡红银矿和深红银矿（硫代亚砷酸银）之外，该公司已研制出很多种优质的硫化物，用以生长复合的含有硫化物的晶体。其中特别值得指出的是硫代镓酸银（ $\text{AgGaS}_2$ ），这是最先发现的呈现旋光性的非对映晶体。

最近有一组材料引起了很大的兴趣。根据它们的化学式的特征，人们给它们取了一个别名，叫做“香蕉”化合物。这当中有一个例子是铈酸钡钠（ $\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$ ），由于它的转换效率和抗光学损伤的能力，在倍频中有所应用。上述公司已研制出纯度合格的优质硝酸盐，供生长这类晶体之用。

混合化合物碲化镉汞（ $\text{Hg}_x\text{Cd}_{1-x}$ ）Te是一种能作为光电导探测器的半导体材料，因为它吸收红外辐射后所引起的电子跃迁能提高它的电导率。该公司最近研究的结果，已开始生产高纯度的碲化镉，在红外领域中作上述应用和其他应用。

## 英帝皇家雷达公司的 晶体研究工作

光混频和电-光技术所用晶体的进一步发展有赖于生长和物理性质的研究。英帝皇

家雷达公司的研究工作的一个目的是寻求具有优良复合性质、能供特殊应用的晶体，为此就要研究如何才能生长到所需的完整度，并研究它们的使用。

在现有数据、以往对于其他晶体的经验以及经验公式的基础上，已挑选好供研究的新晶体。试验了晶体的生长，如果获得成功，基本的晶体性质便掌握了。这些重要性质是：

(i) 对称性，必须是已知的非中心类所具有者；

(ii) 吸收，对有关的频率必须很低；

(iii) 折射率，能进行“位相匹配”；

(iv) 非线性极化率，须尽可能大；

(v) 生长能力，必须易于生长成优质晶体。

待评价的晶体具备这些性质后，便能付诸使用。

优质晶体必须易于生长成高质量的，这样在装置中才能实现其完善的性能。目前这问题已集中为如何成功地生长优质晶体。仔细检查过晶体的缺陷，其目的在于了解他们的起源并改良生长方法。

雷达公司生长和研究的晶体的实例如下：

铌酸锂（ $\text{LiNbO}_3$ ）

3m 对称，对0.4到0.6微米透明，是一种高居里点（1210°C）铁电体，其折射率与温度有关，因此能用热方法调节位相匹配。它从熔化物中拉出，能生长成优质晶体，而且易于制备。铌酸锂易出现光学损伤，因而不适合某些应用。

淡红银矿（ $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ ）

由该公司倡议并着手研制。3m对称，在0.6到13微米透明，折射率很高，双折射和非线性极化很强，适合于红色和红外的光混

# 新 型 装 置

## 书桌般大小的 CO<sub>2</sub> 激光器连续输出 1 千瓦

千瓦级输出功率的普通 CO<sub>2</sub> 激光器一般都需要 20 米的激活长度。现在气体运输激光器能够在仅仅 1 米的激活长度上获得 1 千瓦的连续输出,其效率抵得上现有的 CO<sub>2</sub> 激光器的最佳值。此激光器制作紧凑,在各种工业(如汽车、飞机、核燃料、玻璃、陶瓷和建筑)中可作为切割、打孔和焊接的工具。

### 闭合循环冷却

这类新装置的关键是闭合循环气体冷却技术。在通常的 CO<sub>2</sub> 激光器中限制每单位长度上的平均输出功率的原因在于,在激光器的相互作用区域内必须维持冷的混合气体。在 CO<sub>2</sub> 激光器中,通常输入功率的 10% 变成有用的输出功率;其余的最终变成热。由于热,CO<sub>2</sub> 分子的下振动能态被充满,并且

最终堵塞了下激光能级,随即引起反转数的降低。激发循环、激光作用及 CO<sub>2</sub> 分子下激光能级随后的消激发示于图 1 的能级图中。

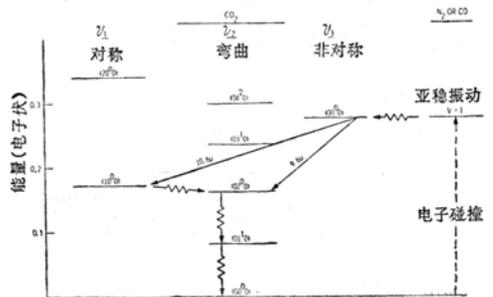


图 1 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 系统的能级。激光跃迁和重要的能量转移过程已示于其中。

在所有的 CO<sub>2</sub> 激光器中,都需要设法从相互作用区域除去热量。在通常的 CO<sub>2</sub> 激光器中,热气体是靠向冷的激光管壁的无规扩散来实现冷却的。为了取得大的功率,必须

频,即上转换。采用斯托克巴格技术,能生长成高光学质量的大晶体,而且易于制备。

### 铌酸钡钠 (Ba<sub>2</sub>NaNb<sub>5</sub>O<sub>15</sub>)

所谓的钨青铜铁电体中的一种, 2mm 对称,居里点 560°C,在 0.4 到 6 微米透明,应用范围与 LiNbO<sub>3</sub> 相似,但光学损伤比较少出现。主要应用是在 Nd 激光器中有效地产生绿光。主要问题是难于生长成没有孪晶、域和应变的大晶体。不易制备。

### 硫代镓酸银 (AgGaS<sub>2</sub>)

与具 42m 对称结构的黄铜矿有连系,可在红色和红外以及电-光装置中实现光混频,

是最先发现的呈现旋光性的非对映晶体。

此外这家公司还研究了下列晶体:

磷酸二氢铵	CuAsS <sub>3</sub>	SbSI
Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>	CuCl	AsI <sub>3</sub> 3S <sub>8</sub>
草酸铵	HgS	硫酸铍
硫酸钆	KDP	钨青铜(各种各样的)
亚硝酸钡	KD*P	PbCsCl <sub>3</sub>
Ca <sub>2</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	PbC <sub>8</sub> Br <sub>3</sub>
CdGa <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	酒石酸钾	ZnS
CdS	醋酸铀酰钠	

### 参 考 文 献 (略)

取自 *Electron. Engng.*, 1969 (Nov.), 41, №501, 25~27