

## 激光晶体的电子束激励

W. W. Anderson

在关于用电子束抽运激光器所发表的文章中，多数作者都考虑了电子最大渗透深度的测定<sup>[1-4]</sup>。能量耗损随渗透深度的分布函数是比较重要的。最大能量耗损区域将确定激光器的激活区域，这一点是赫维茨 (Hurwitz) 和凯斯 (Keyes)<sup>[5]</sup>所发现的，他们估计了 GaAs 用 50——千电子伏特的电子来激励时，其激活区域的厚度在 5 微米到 10 微米之间。基于埃伦伯 (Ehrenberg) 和金 (King)<sup>[6]</sup>的工作，斯廷勒 (Stimler)<sup>[1]</sup>得到一个经验方法，此法确定渗透的最大深度约 13.5 微米。用埃伦伯和金的其他一些结果，作者提出了确定激光材料激活区域深度的一个方法。例如，用此方法估计，GaAs 中 50——千电子伏特电子的渗透深度是 5 微米至 7 微米，这与赫维茨和凯斯的估计相比，较为准确。

我们所用的埃伦伯和金的资料是其电子通过晶体的能量耗散图。这些结果证实了斯潘塞 (Spencer)<sup>[7]</sup>关于快速电子的能量耗损理论这一事实表明，这些结果是正确的。这样，斯潘塞所给出的表就能很有把握地用以计算在典型的激光晶体中电子的能量耗散，至少表中所给的能量范围是可用的。这是由显著的、仅仅材料的密度和分子的平均原子序数才有意义的比例性质得到的。

表 I 列出了一些激光或可能的激光半导体材料的密度和平均原子序数。图 1 表示 GaAs 和 ZnSe 中电子能量耗损的计算值。横坐标和纵坐标分别乘以和除以 1.12 就可得到 InP 和 CdS 的一组类似曲线。图 2 表示了 InSb 中电子能量耗损的计算值。横坐标和纵坐标分别乘以和除以 0.93 (或 0.77) 则可得到 Te (或 PbS) 的一组类似曲线。最后，图 3 表示了 ZnS 中电子能量耗损的计算值。图 1 中平均原子序数  $Z=32$  的晶体的曲线是从斯潘塞表中原子序数  $Z=29$  的 Cu 计算得到的。图 2 中  $Z=50$  (或 52、或 49) 的材料曲线是由所列出的关于 Sn ( $Z=50$ ) 的数据得出的。图 3 中  $Z=23$  的 ZnS 的曲线按斯潘塞的提议应用了 Al ( $Z=13$ ) 和 Cu ( $Z=29$ ) 之间的对数内抽法。图 3 可与列别捷夫物理研究所的工作者测出的 ZnS 的能量耗损相比较，这些人在比我们计算结果较浅的深度上找到了分布峰值。可以相信，这反映了他们的测量技术包含了电子在薄膜中的渗透。 $Z=41$  的 GaSb、InAs、ZnTe 和 CdSe 的类似曲线可能已由 Cu ( $Z=29$ ) 和 Sn ( $Z=50$ ) 之间的内抽法计算得到。但是，关于这一点上，有兴趣的读者去参看埃伦伯和金<sup>[6]</sup>的文章似乎更好一些，他们画出了能量增加了 10 千电子伏的

## 激 光 半 导 体

材 料	密度(克/厘米 <sup>3</sup> )	平均原子序数( $\bar{Z}$ )
GaAs	5.32	32
GaSb	5.57	41
InP	4.75	32
InAs	5.69	41
InSb	5.78	50
ZnS	3.98	23
ZnSe	5.42	32
ZnTe	6.34	41
CdS	4.82	32
CdSe	5.81	41
Te	6.24	52
PbS	7.5	49
PbSe	8.1	58
PbTe	8.16	67

电子在一些磷光晶体中的耗损图。特别是其中 KI ( $Z=36$ ) 的曲线可用于其物质密度按比例改变的 GaAs、InP、ZnSe 和 CdS,  $Z=45$  的 RbI 可用于其物质密度按比例改变的 GaSb、InAs、ZnTe 和 CdSe, 最后, CsI ( $Z=54$ ) 可用于 InSb、Te、PbS 和 PbSe。

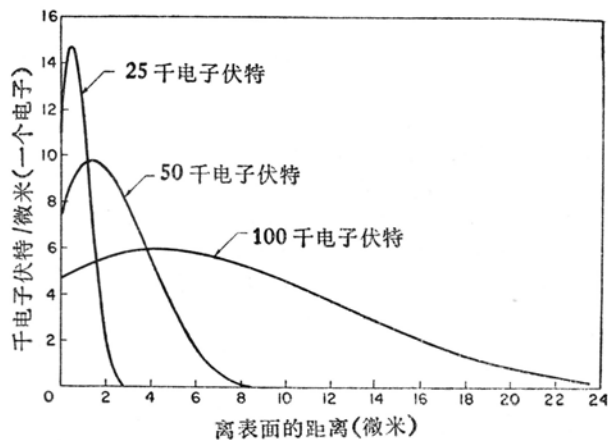


图 1 GaAs 和 ZnSe 中快速电子能量耗损的计算值(InP 和 CdS 参看文内)

现在考虑激活区域厚度的问题。能量耗损对于进入晶体的距离的曲线与电子-空穴对产生的速率(作为到表面距离的函数)成正比。当无载流子的徙动时, 这些曲线就会给出激活区域增益的剖面图。但是, 由于一般地有高的表面复合速度和向晶体内部的扩散流, 因此就有向着表面的扩散流。假若少数载流子扩散长度大于明显的电子-空穴对产生的深度, 则扩散

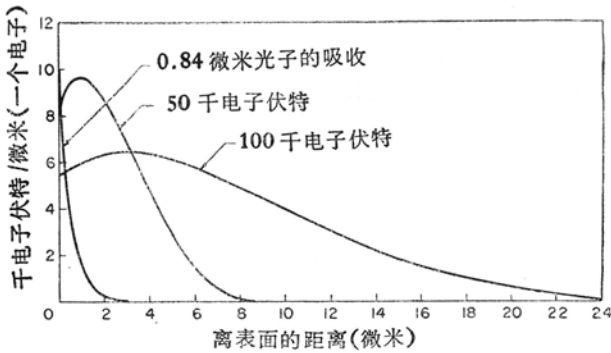


图 2 InSb 中快速电子能量耗损的计算值  
(Te 和 PbS 参看文内)

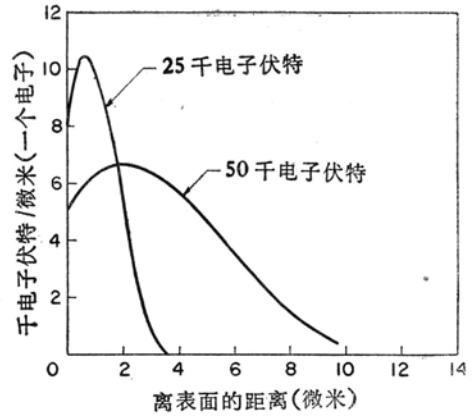


图 3 ZnS 中快速电子能量耗损的计算值

长度将决定激活区域厚度。扩散长度的变化由几微米 (GaAs) 到几百微米 (InSb 和 InP)。此外, 扩散长度对于掺杂程度以及晶体的完整性是灵敏的。因此, 抽运激光器的电子束的激活区域的厚度或许应对每种情况分别地确定。但关于电子-空穴对的空间产生的数据将给出激活区域厚度的下限。

从图 1 可以看出, 用 50 千电子伏的电子抽运的 GaAs [5] 在 7 微米以下所受的激励比较小。由于这相当于或大于 GaAs 中典型的扩散长度, 故激活区域厚度的原来估计值为 5 微米到 10 微米是很合理的 [5]。另一方面, 对于浓度大的物质, 如 InSb, 激活区域厚度最可能由扩散确定。对于吸收系数近于  $2 \times 10^4$ /厘米的光抽运情况 [9], 这是特别正确的 (为了和电子束激励比较, 图 2 中也画出了光学吸收)。

### 参 考 文 献

- [1] M. Stimler, *Appl. Opt.*, **4**, 626 (1965).
- [2] D. A. Cusano and J. D. Kingsley, *Appl. Phys. Letters*, **6**, 91 (1965).
- [3] D. A. Cusano, *Solid State Commun.*, **2**, 353 (1964).
- [4] C. Benoit, *à la Guillaume* and J. M. Debener, *Solid State Commun.*, **3**, 19 (1965).
- [5] C. E. Hurwitz and R. J. Keyes, *Appl. Phys. Letters*, **5**, 139 (1964).
- [6] W. Ehrenberg and D. E. N. King, *Proc. Phys. Soc.*, **81**, 751 (1961).
- [7] L. V. Spencer, *Natl. Bur. Std. Monograph*, **1**, (Sept. 1959).
- [8] V. L. Levshin, *et al.*, *Soviet Researches on Luminescence*, D. V. Skobeltsyn, ed. (Consultants Bureau, New York, 1964), p. 75.
- [9] R. J. Phelacr, Jr., and R. H. Redliker, *Appl. Phys. Letters*, **6**, 70 (1965).

原载 *Appl. Opt.*, 1966, **5**, №1, 167~168 (宋铭钊译, 颜绍知校)

## 超导体在磁流体发生器中的应用

目前发现了一些新的超导材料, 其中有些能在 18°K 这一较高温度下工作。这给超导体在高能物理中的应用开辟了光辉的前程。一般采用铌-锆、铌-锡等合金作超导材料。超导体