

# 新型装置

## 用电子束激励的高效率 $CdS_xSe_{1-x}$ 可见光激光器

C. E. Hurwitz

用电子束激励硫化镉与硒化镉( $CdS, CdSe$ )而实现的激光作用,近来曾报导过<sup>[1~4]</sup>。在目前的工作中,我们采用电子束激励  $CdSe_xSe_{1-x}$  混合晶体(其中  $x$  从 0 到 1 之间变化),在从红光的 6,900 埃到蓝光的 4,900 埃之间的几个波长上实现了受激振荡,其输出峰值功率达 20 瓦,效率高达 11%。这个结果,连同以前的作者们<sup>[5~6]</sup>关于砷化镓( $GaAs_xP_{1-x}$ ) p-n 结激光器的那些结果一起,表明了目前在由 8,400 埃至 4,900 埃的连续波长范围内的任何波长上,能够获得有效的半导体激光器。

激光器的样品是用高纯度的单晶体做成的。这种单晶是用七种不同组分(从纯的硒化镉( $CdSe$ )到纯的硫化镉( $CdS$ ))的蒸汽生长成的薄片。样品的制备及实验技术在以前的文章中曾描述过<sup>[3]</sup>。发射强度随电子束电流按高次关系增长、谱线随很好确定了法布里-珀罗谐振腔波型的同时形成而变窄、以及发射光的空间衍射花样的出现,都清楚表明了受激发射作用的开始。在所有情况下,自发发射和受激发射都是强烈的  $E \perp C$  的偏振。

激光器的发射始终出现在宽为 30~50 埃的主自发发射线的峰值附近 10 埃宽的波长范围内,并且大多(但不排除个别情形)出现在其峰值的低能一侧。图 1 表示激光器的光子能量及其相应的波长随晶体成分的变化情形。对取为激光工作物质的晶体附近的样品进行细微电子束探测分析,便能确定激光晶体的成分。由于分析的资料有些零散,因而图 1 及后面的表 1 中所给定的晶体成分,其精确度约为  $\pm 5$  克分子%。

从以往关于硫化镉( $CdS$ )和硒化镉( $CdSe$ )的结果看来,这样一点是十分确实的,即这些材料的一些合适的光学跃迁包含着一种束缚的激子-杂质复合过程。虽然在这些晶体里看不

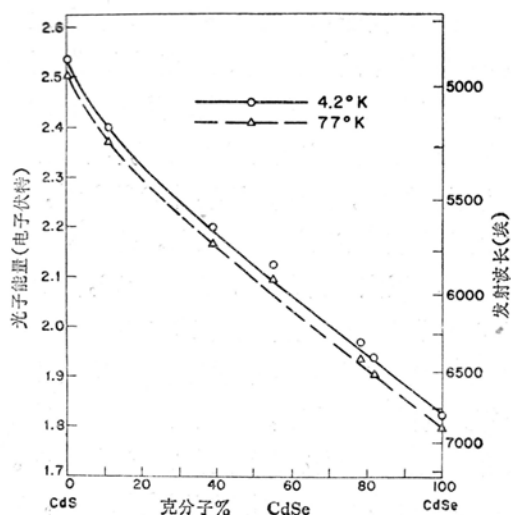


图 1 在 4.2°K 和 77°K 时,  $CdS_xSe_{1-x}$  激光器的光子能量及其相应的波长随晶体成分的变化。

到锐的激子发射谱线，但是据推测，这同样是混合合金中的情形。因此，基于以上的考虑，我们试图根据帕克(Park)和雷诺兹(Reynolds)所给出的关于光电导及发射的资料，使图1中硫化镉和硒化镉混合晶体( $CdS_xSe_{1-x}$ )的光子能量与激子能量建立起相互关系。我们发现，纯的硫化镉(CdS)与纯的硒化镉(CdSe)和其合金中略低于A激子能量处的结果很一致，这是预料中的事，因为后者是一种自由激子。但是，对于居间成分的情况来说，目前的结果中的峰值能量比以往报导的关于A激子的那些能量稍高。我们认为这些差别是由于在测定成分时所采用的方法不同所造成的。

激光器的阈值电流、输出功率以及效率等随电子束电压变化的行为，本质上和以往报导的关于CdS及CdSe激光器的结果是一样的。当用50千电子伏的电子束激励时，对于各种成分的激光器，所测得的最小阈值束电流密度、所观察到的最大峰值功率输出和效率列于表中。表中列出的CdSe的阈值电流密度是比较新的结果，这些值远低于较早期的结果。事实上，除CdS之外，所有这些材料的阈值电流都是足够低的，因而样品受束电流引起的热效应也减到最小；所以，用液氮和液氮冷却的样品，其温度只是分别在4.2°K及77°K的很小几度内改变，这和早期所测得的约为40°K及100°K的结果相反。这样一来，在液氮和液氮温度时，其阈值电流有显著的差别。

克分子 % CdSe	阈值电流密度 (毫安/厘米 <sup>2</sup> )	输出功率(瓦)	效率(%)
0	1,000	10	0.7
11	1,200	5	0.4
	1,280	10	7
39	1,400	6	4
	1,430	20	11
	1,480	8	9
55	1,440	11	9
	1,400	7	5
	600	1	2
82	100	5	4
	450	3	3
100	50	16	8
	200	14	7

在同样成分的不同样品中，或者甚至在同一样品的不同点上，其阈值电流以及效率的数值也是在很大的范围内变动的。

表中用50千电子伏的电子束激励硫化镉与硒化镉( $CdS_xSe_{1-x}$ )混合晶体激光器时，在4.2°K(图1中上面的曲线)和77°K(图1中下面的曲线)下的阈值电流密度、峰值功率以及最大效率。样品尺寸为0.25毫米×1.5毫米×4-20微米。束电压为50千伏。由于这些晶体在其他性质方面(诸如在高放大率的情况下检验晶体切开后的谐振腔表面的完整性)看来是相同的，因而上面所谈到的那些差别应当认为是由于晶体内部的局部不均匀性造成的。除了纯CdS中那种阈值非常高而效率非常低的情况外，企图根据表中的资料确定地建立起阈值和效率与成分的关系曲线是不可信的。在用几个晶体制成的所有样品中都观察到了上面所述的特性。这些性质至今尚未解释过。对于 $x=0.18$ 与 $x=0.21$ 的两种晶体，其输出功率及效

率略低，而阈值较高，其原因在于这些晶体薄片非常薄（4~5微米），而且入射的快速电子中有很大一部分完全透过了样品。

最后必须指出，在表中所给定的数据中，所有样品尺寸都是0.25毫米宽的，而电子束的直径近似地是0.5毫米。因此，入射的电子束实际上只有三分之二真正打在样品上，因而真正的效率至少是表中所给定的值的1.5倍。此外，由于存在着入射电子的某些反向散射，并且受激发射是出现在一个小细束中，因此可推知其局部效率还要高些。在某些情况下，其效率可高达30%。有时这个值被认为是最高效率极限。这一极限是由快速电子产生电子-空穴对时存在的固有能量损耗所规定的。

### 参 考 文 献

- [1] N. G. Basov, O. V. Bogdankevich, and A. C. Devyathov, *Doklady Akad. Nauk, SSSR*, 155, 783 (1964). (English Transl.: *Societ Phys.—Doklady* 9, 788 (1964); N. G. Basov, *Physics of Quantum Electronics Conference Proceedings*, 1965 (McGraw-Hill Book Company, 1966), p. 411.
- [2] C. Benoit a la Guillaume and J. M. Debever, *Compt. Rend.*, 261, 5428 (1965).
- [3] C. F. Hurwiz, *Appl. Phys. Letters*, 8, 121 (1966), and References cited therein.
- [4] F. L. Nolle, V. S. Vavilow, G. P. Goubev, and V. S. Mashtakov, *Fiz, Tuerd. Te la* 8, 286 (1966).
- [5] N. Holonyak, Jr., and S. Bevaqua, *Appl. Phys. Letters*, 2, 176 (1963); N. Holonyak, Jr. *Trans. Met. Soc. AIME* 230, 276 (1964).
- [6] M. Pilkuhn and H. Pupprecht, *J. Appl. Phys.*, 36, 684 (1965).
- [7] Y. S. Park and D. C. Reynolds, *Phys. Rev.*, 132, 2450 (1963).
- [8] D. C. Reynolds, Private Communication.
- [9] D. C. Reynolds, C. W. Litton, and T. C. Collins, *Phys. Stat. Sol.*, 9, 645 (1965); 12, 3 (1965).
- [10] W. Shockley, *Czech. J. Phys., Bll.*, 81 (1961).
- [11] V. L. Levshin et al., *Soviet Researches on Luminescence*, ed. D. V. Skobel. tsyn (Consultants Bureau, New York, 1964), pp. 62—69.

原载 *Appl. Phys. Lett.*, 1966, 8, №10, 243~245 (陈建文译, 陈时胜校)

## 气体-离子激光跃迁的回旋加速器共振激发

欲获得离化原子的集居数反转和激光作用，就必须激发通常比原子基态高很多电子伏（在氩气的情况下，高35电子伏）的上激光能级。能激发上激光能级的方法之一，是同一个已被外电场加速的电子相碰撞。为了得到这些必不可少的高电子能量，电子在碰撞中获得的能量应当尽可能大。在直流场和低频场（ $f <$  碰撞频率）的情况下，每一次碰撞所提供的能量正比于  $E/P$ ，这里的  $E$  是电场， $P$  是气压。具有高的  $E/P$  比值的脉冲直流<sup>[1~2]</sup>和射频放电已成功地用来产生离子激光作用。其效率比较高。但在连续放电中欲得到高的  $E/P$  比值是不可的，因此每次碰撞所提供的平均能量，因而平均电子能量就比较小。在连续放电的情况下，平均电子能量近似等于中性原子的电离电势。由于在直流<sup>[4]</sup>和低频<sup>[5]</sup>连续放电中，这