

〔联邦德国〕 F. P. 舍费尔 主编

# 染料激光器

科学出版社

# 染料激光器

[联邦德国] F. P. 舍费尔 主编  
陈昌民 孙孟嘉 苏大春 译

科学出版社

1987

## 内 容 简 介

本书全面地论述了染料激光器的各个方面,包括染料激光器的基本原理、连续波染料激光器、锁模染料激光器、激光染料以及染料激光应用。各章均由工作于前沿的专家撰写,论及各领域的基本问题及研究现状。各章叙述清楚,并具有一定深度而且结合实际。索引及参考文献内容丰富、概括全面,对于学习和从事实际工作人员均有较好的参考价值。

本书适合从事激光研究和应用的科研工作者及工程技术人员阅读,也可供高等院校有关专业的高年级师生参考。

Edited by F. P. Schäfer

DYE LASERS

Springer-Verlag, 1978

## 染料激光器

[联邦德国] F. P. 舍费尔 主编

陈昌民 孙孟嘉 苏大春 译

责任编辑 刘海龄

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1987年5月第一版 开本: 850×1168 1/32

1987年5月第一次印刷 印张: 10 1/2

印数: 0001—1,400 字数: 275,000

统一书号: 15031·803

本社书号: 5047·15—4

定价: 3.00 元

## 第二版序言

由于《染料激光》的第一版已经售罄，而对这本书的需求仍纷至沓来，发行第二版就成为必然的了。如果联系到人们对染料激光器的兴趣日益增长（这一点可以由近期有大量关于染料激光器及其应用的论文发表来证明），这种需求便是显而易见的了。本版增加了第六章“染料激光的进展：1973年9月至1977年3月”，经这么处理就赶上了当前的发展水平。为了写这一章进展报道，我们不得不评阅了450多篇新增的有关染料激光器与激光染料的论文，并将大约400篇文章收进增补的参考文献目录之内。这样一来，使感兴趣的读者都能够对这一时期的染料激光领域内所有的重要进展得到一个迅速发展的总体印象。他们将看到基本原理的梗概，并且可以利用列出的参考文献更为详尽地去研究感兴趣的课题。增补后的索引加上丰富的交叉引证必将有助于读者方便地查阅特定的论题。

这一领域仍在迅速发展，几乎可以肯定，预期在近几年中会出现相当多的重大贡献。我仅举出其中少数几项：非相干泵浦连续波染料激光器，短波长染料激光器，光稳定性和/或效率大为提高的新型染料，更为有效的泵浦光源等等。随着设计先进和性能优越的脉冲及连续波染料激光器进入市场，应用的数量雪崩似地增加达到这样一种地步，以致我们在第二版中囊括所有这些新发展是不现实的。读者在本丛书的其它各卷中（例如2, 13, 14, 16, 18卷）将能看到这些新应用和新发展的详尽论述。

对于许多即将跨入这一异常活跃领域的研究者来说，本书第二版将会是一种有用的工具。

F. P. 舍费尔

1977年7月于哥廷根

# 目 录

1. 染料激光器的工作原理..... Fritz P. Schäfer (1)	
历史简述.....	1
本书的编排方式.....	6
1.1 有机化合物的一般性质.....	6
1.2 有机染料对光的吸收.....	10
1.3 受激分子的退激活途径.....	29
1.4 激光泵浦染料激光器.....	33
1.4.1 振荡条件 (33) 1.4.2 实际泵浦装置 (38) 1.4.3	
时间特性和光谱 (46)	
1.5 闪光灯泵浦染料激光器.....	56
1.5.1 三重态影响 (56) 1.5.2 实际泵浦装置 (62)	
1.5.3 时间特性和光谱 (66)	
1.6 染料激光器的波长选择谐振腔.....	69
1.7 染料激光放大器.....	82
1.8 展望.....	86
2. 连续波染料激光器..... B. B. Snavely (89)	
2.1 连续波染料激光器的增益分析.....	94
2.1.1 激光阈值分析 (94) 2.1.2 超激光阈值的增益分	
析 (101)	
2.2 连续波染料激光器的调谐.....	107
2.3 实验系统的性能.....	118
2.4 结论.....	123
3. 染料激光器的锁模..... C. V. Shank, E. P. Ippen (125)	
3.1 背景概述.....	125
3.2 脉冲染料激光器.....	132
3.3 连续染料激光器.....	139
3.4 短脉冲形成的讨论.....	145

4. 激光染料的结构和性质.....	K. H. Drexhage (149)
4.1 激光染料的物理性质 .....	149
4.2 内转换 $S_1 \rightarrow S_0$ .....	152
4.2.1 结构的活性 (152)	4.2.2 氢的振动 (154)
4.2.3 其它分子内部的猝灭过程 (155)	4.2.4 荧光产额的测定 (156)
4.3 系际交叉 $S_1 \rightarrow T_1$ .....	156
4.3.1 对于 $\pi$ 电子分布的依赖关系 (157)	4.3.2 重原子取代基 (159)
4.3.3 三重态产额的测定 (160)	
4.4 $S_1$ 态和 $T_1$ 态的光吸收 .....	161
4.5 环境效应 .....	162
4.5.1 电荷转移相互作用造成的荧光猝灭 (162)	4.5.2 能量转移造成的猝灭 (163)
4.5.3 外部重原子效应 (163)	4.5.4 染料分子的聚集 (164)
4.5.5 受激态反应 (165)	
4.6 香豆素衍生物 .....	166
4.6.1 吸收和荧光 (166)	4.6.2 酸碱平衡 (170)
4.7 咕吨染料 .....	173
4.7.1 吸收光谱 (173)	4.7.2 荧光特性 (177)
4.8 较新类型的有效激光染料 .....	178
4.8.1 噁唑染料 (179)	4.8.2 碳桥染料 (181)
4.8.3 萘并荧光素及有关的染料 (182)	
4.9 其它有效的激光染料 .....	183
4.10 染料的纯度与化学鉴定 .....	184
4.11 结语 .....	185
5. 染料激光器的应用 .....	Theodor W. Hänsch (204)
染料激光器的特性 .....	204
激光器的应用 .....	207
5.1 光吸收和光散射 .....	208
5.1.1 吸收光谱 (208)	5.1.2 选择性的染料激光猝灭 (209)
5.1.3 喇曼散射 (212)	5.1.4 共振荧光 (213)
5.1.5 痕量分析, 污染探测 (215)	5.1.6 激光雷达, 共振大气散射 (216)
5.1.7 寿命和弛豫速率的测量 (218)	5.1.8 共振辐射压力, 原子束偏转 (219)

5.2 选择性激励 .....	220
5.2.1 光泵浦 (220) 5.2.2 激发态光谱学 (221) 5.2.3 光磁性 (222) 5.2.4 激光跃迁的泵浦 (223) 5.2.5 光 电离 (225) 5.2.6 光分离 (226)	
5.3 非线性光谱学 .....	228
5.3.1 饱和光谱 (228) 5.3.2 相干瞬变效应 (232) 5.3.3 非线性极化率 (233) 5.3.4 受激光散射 (236)	
5.4 其它的光谱学应用 .....	237
5.4.1 能级交叉光谱 (237) 5.4.2 量子拍光谱(238) 5.4.3 外差光谱学 (239)	
5.5 利用非线性混频产生可调谐的紫外光和红外光 .....	240
5.5.1 谐波及和频的产生 (240) 5.5.2 差频的产生 (244) 5.5.3 光学参量振荡器的泵浦 (246)	
5.6 光化学,同位素分离 .....	247
5.6.1 快速光化学反应 (248) 5.6.2 两步光电离 (249) 5.6.3 两步光离解 (249) 5.6.4 光预离解 (250)	
5.7 染料激光器在生物学中的应用 .....	250
5.7.1 生物分子的光分解:反应动力学 .....	251
5.8 医学中的应用 .....	252
5.9 全息学 .....	253
5.9.1 全息学的等高线绘制 .....	254
5.10 通讯,集成光学 .....	257
5.10.1 激活波导: 薄膜染料激光器 (258) 5.10.2 具 有分布反馈的染料激光器 (260)	
5.11 光放大 .....	263
5.11.1 染料激光振荡器-放大器系统 (265) 5.11.2 利 用饱和放大的光强稳定化 (266) 5.11.3 具有反馈的染 料激光放大器 (268) 5.11.4 像放大 (268)	
6. 染料激光器的进展: 1973年9月至1977年3月 .....	F. P. Schäfer (272)
6.1 染料 .....	273
6.2 光谱和时间特性 .....	275
6.3 一般染料激光器的设计 .....	276

6.4	泵浦方法 .....	277
6.5	调谐方法 .....	278
6.6	连续波染料激光器 .....	279
6.7	高功率染料激光器 .....	279
6.8	汽相染料激光器 .....	280
6.9	薄膜和波导染料激光器 .....	280
6.10	锁模染料激光器 .....	281
6.11	染料激光发射的频率转换 .....	282
参考文献 .....		283
索引 .....		302



# 1. 染料激光器的工作原理

Fritz P. Schäfer

## 历史简述

染料激光器是在已经发现了好几百种激光激活物质的时候问世的。然而，染料激光器不仅给为数很多的激光器清单上又增添了一员，而且实现了自激光器本身出现以来一直是实验工作者的幻想：即获得一种频率或波长容易在宽广的范围内调谐的激光器。染料激光器在其它几个方面也是引人注目的：染料可以在固相、液相或气相下使用；并且它们的浓度（因而它们的吸收和增益）容易控制。染料的溶液尤为方便：人们能够得到光学性能好的激活媒质，而冷却象在气体激光器中一样，仅采用流动系统就能完成。此外，液体是自行修复损伤的，这与固态激活媒质恰成对照，在后者之中，损伤（譬如说高激光强度引起的损伤）常常是永久性的。原则上讲，液体染料激光器的输出功率可与固体激光器同数量级，因为两者的激活媒质的密度可以做到相同，而有机染料激光器的尺寸实际上是没有限制的。最后，激活媒质（有机染料）的价格与固体激光器相比是微不足道的。

早期关于采用有机化合物的设想（Rautian and Sobel'mann, 1961; Brock et al., 1961）促使人们正确地预料到电子激发分子的振动能级的作用（Broude et al., 1963），但是有可能导致实现有机染料激光器的最早实验研究则是由 Stockman 等人（1964）和 Stockman（1964）进行的。Stockman 用高功率的闪光灯泵浦处于两谐振腔镜之间的花的苯溶液，在他的系统中发现了小的净增益的迹象。遗憾的是，他只试用了芳香族分子花，这种分子由于三重

态-三重态吸收和由第一激发单重态到高激发单重态的吸收而损耗很高。要是他用了某种咕吨染料,例如若丹明 6G 或荧光素,无疑我们早二年就会有染料激光器。1966 年,国际商业机械公司 Thomas J. Watson 研究中心(在 Yorktown Heights)的 Sorokin 和 Lankard (1966) 才第一次从有机化合物中(即从氯铝酞花青中)获得了受激发射。严格地说,这种染料是一种有机金属化合物,因为其中心的金属原子直接与一个有机环类分子键合,有些类似于螯合物激光器中所用的化合物。但是,在螯合物激光器中,受激发射只是来源于中心原子,而在氯铝酞花青中,光谱学的数据清楚地表明,发射来源于分子的有机部分。Sorokin 和 Lankard 用巨脉冲红宝石激光激励这种染料,原准备观察其中的共振喇曼效应(Sorokin, 1969)。他们没有观察到锐喇曼线,而是在 755.5nm 处发现了一条弱的弥散带,这是一条荧光带的峰值。他们立刻猜测到这可能是初始的激光作用的预兆。确实,当把染料盒放到谐振腔中去时,就在 755.5nm 处出现了强激光束。

在此期间,作者正在自己的实验室里(当时是在 Marburg 大学)研究花青类可饱和染料的饱和特性,并不知晓 Sorokin 和 Lankard 的工作。作者不是观察饱和吸收,而是采用了以巨脉冲红宝石激励、以一个光电池及一台 Tektronix 519 示波器记录的自发荧光饱和法。3, 3'-二乙基三羰花青染料被选为最合适的样品。这一方案在  $10^{-6}$  到  $10^{-5}$  mole/l 的很低浓度下进行得很好。但是,当 Volze (当时他还是学生)试图把这些测量推广到较高的浓度时,他得到了比预料要强一千倍的信号。由于仪器上升时间有限,初看起来,说成电缆损坏还是过得去的。然而,很快就闹清楚了:这是激光的作用,由于全抛光的矩形光度计比色皿的玻璃-空气界面上反射率 4% 则起了谐振腔反射镜的作用。用夜视仪观察红外激光束射到实验壁上的明亮光斑,很快就证实了这一结论。我们与 Schmidt (当时是研究生)一起,拍摄了在不同浓度下、以及比色皿壁镀有反射层时的光谱。这样,我们得到了首次的证据:我们有了确实可以调谐的激光器,它的波长通过改变浓度或谐振腔的镜

面反射率可以移动 60nm 以上。这一结果很快被证实并被推广到十几种不同的花青染料上去。在这些染料中，有一种呈现出相当大的溶剂化显色效应，使我们只要改换溶剂就能使激光波长移动 26nm 以上 (Schäfer et al., 1966)。休斯飞机公司的 Spaeth 和 Bortfield (1966) 也报道了另外两种花青染料的受激发射。这些作者受 Sorokin 和 Lankard 论文的鼓舞，用了巨脉冲红宝石激光激励隐花青和另一种类似的染料。由于他们所用的染料荧光量子产额很低，他们得到的阈值高，只观察到激光波长随染料盒长度和染料浓度的一定移动。

1967 年 Stepanov 及其合作者也报道了酞花青化合物、隐花青及亚甲蓝的受激发射 (Stepanov et al., 1967) 他们还报道了一些荧光量子效率小于  $10^{-3}$  的染料的激光发射；但是，这还没有被其他人所证实。

这一工作的逻辑推广是应用较短的泵浦波长和别的染料，以期得到较短的激光波长。在作者的实验室里，用钕或红宝石激光的二次谐波泵浦大量的染料，其中包括几种咕吨染料，而首次把它实现了 (Schäfer et al., 1967)。其他几个实验室也独立地得到了类似的结果 (Sorokin et al., 1967; McFarland, 1967; Stepanov et al., 1967; Kotzubanov et al., 1968)。染料激光波长现在覆盖了整个可见谱区并延伸到近紫外和红外。

另一个重大进展是用衍射光栅取代一个谐振腔镜以引入与波长有关的反馈 (Soffer and McFarland, 1967)。这些作者有效地把光谱从 6nm 压缩到 0.06nm，并获得了 45nm 的连续调谐范围。自此以后，发展了许多不同的调谐染料激光波长的方案：这些方案将在下一章中仔细讨论。

下面自然的一步就是发展上升时间和强度能与巨脉冲红宝石激光器相比拟的闪光灯，以便染料激光器能用方便的、非相干光源来泵浦。这最初是用了数年前为了闪光光解作用而发展起来的技术得以实现的 (Sorokin and Lankard, 1967; Schmidt and Schäfer, 1967)。此后不久，作者的小组发现，只要把闪光灯与火花隙串连

使用并加上足够高的电压以产生约为  $1\mu\text{s}$  的上升时间，即使标准的直线氙闪光灯——对某些染料来说甚至螺旋氙灯——也是可以应用的。现在这是大多数单次或重复泵浦染料激光器的标准作法。

由于染料分子在亚稳三重态的积累引起损耗，所以染料激光器连续波运转是不可能的这一公认的信念也为 Snavely 和 Schäfer (1969) 所纠正了。他们发现三重态为氧所猝灭能足够快地减少三重态的稳态布居数，从而允许连续波运转，至少在若丹明 6G 染料的甲醇溶液中是如此，并应用集总参数传输线给闪光灯馈送  $500\mu\text{s}$  梯形脉冲电压，证实产生了  $140\mu\text{s}$  的染料激光。已经证明，染料激光脉冲过早的结束不是由于三重态的积累，而是由于热学的和声学的纹影效应所致。我们的发现后来为其他作者所证实和推广，他们也用了非饱和烃作为三重态猝灭剂 (Marling et al., 1970a, 1970b; Pappalardo et al., 1970a)。

从这些测量中推算出来的、对连续波染料激光器的泵浦功率密度的要求是如此之高，以致看来不大可能用普通高功率弧光灯来实现连续波运转。另一方面，将高功率气体激光聚焦到染料盒能够获得高得多的功率密度。这样一来泵浦区域被局限在 50ml 左右，但是染料激光器中的增益通常是很高的。

连续波运转是迈向充分利用染料激光器的潜力的最重要的一步；它首先是由 Eastman-Kodak 研究实验室的 Peterson 等人 (1970) 实现的。他们应用氙离子激光泵浦若丹明 6G 的加了洗净剂的水溶液。用水作溶剂的好处是热容量大，这就减小了温度梯度，而染料溶液高速流动通过聚焦区把它进一步减小了。洗净剂既起三重态猝灭剂的作用，又防止了染料分子形成非荧光二聚物，后者在纯水溶液中产生高的损耗。

这一突破引起了在过去二年里对连续波染料激光器的大量研究和发展，这些将在本书第二章中论述。

从时间尺度的其他范围来看，由于染料激光器的光谱带特别宽，它大有希望产生半宽度比在任何其他激光器中都小的超短脉

冲。利用染料激光产生超短脉冲的第一次尝试是用一台固体激光器的锁模脉冲序列去泵浦染料溶液；染料盒置于一个谐振腔中，此谐振腔的往返时间准确等于泵浦脉冲的间隔或是它的一个简单约数 (Glenn et al., 1968; Bradley and Durrant, 1968; Soffer and Linn, 1968)。接着又证明了去掉谐振腔，应用尖劈状染料室中的超辐射行波发射也是可能的 (Mack, 1969)。用这种方法得到的脉宽一般约为 10 到 30ps。Schmidt 和 Schäfer (1968) 用若丹明 6G 作为激光激活物质，用花青染料做为饱和和吸收器，第一次实现了闪光灯泵浦染料激光器的自锁模。在一台改进了的这种类型的装置里，脉宽达到了仅仅 2ps (Bradley et al., 1970)。最后，这一技术被用到了连续波染料激光器以产生脉冲仅为 1.5ps 的连续锁模发射 (Diense et al., 1972)。这仍然远没有到达理论上的可能极限。假使在全部约为 250THz 带宽上锁模是可能的，脉宽应是 5fs 的数量级。在我们达到这一极限的任何一个阶段之前，都还需要做许许多多的理论的和实验的研究。本书的第三章专讲染料激光器研究的这一重要领域。

如果有人试图把这段历史外推并想看出未来发展的轮廓的话，他能立刻预见到在许多特性上将有较大定量的改善：波长覆盖将向紫外更远处发展；峰值脉冲功率和能量将增大几个数量级；连续波染料激光器的输出功率和频率稳定性也将成数量级的改善；并且产生脉宽空前窄的超短脉冲将成为可能的。一种性能上的改善将是利用专门设计的高功率弧光灯非相干泵浦连续波染料激光器，这就容许有比用气体激光泵浦高得多的输出功率。最为重要的发展将牵涉到染料激光的化学方面，即合成特种染料，这是一个刚刚开始的研究领域 (Drexhage, 1972a)。

对于激光器的多种多样应用的要求无疑将会直接引起激光器的许多发展，其数目仍在不断地增长，而且即使在今天它们也已是如此繁多，以致本书的第五章(专讲应用)几乎无法把它们全都包括在内。

## 本书的编排方式

Schäfer 写的第一章是引论。描述了有机化合物的化学和光谱性质，关于染料激光器工作的一般原理作了引言性的介绍，评述了没有在专门一章中讨论过的染料激光的各方面问题。本章的重点是在于容易理解所涉及到的物理和化学原理，而不是在于完整性，或是历史陈述或系统性陈述。各专门篇章都是以此为基础的。

Snavely 写的第二章评述了连续波染料激光器，重点放在增益分析上。对三重态问题给予了特别的注意。

染料激光器的锁模是 Shank 和 Ippen 写的第三章的专题。在介绍了测量超短脉冲的各种方法之后，作者讨论了能够用于脉冲及连续波染料激光器锁模的实验方法。作者说得明白：我们仍然不了解染料激光器中锁模的机理。

在 Drexhage 写的第四章中讨论了染料的化学及物理性质，列出了大量的关于染料资料，以支持作者所发现的、关于选择和合成可用的激光染料的规则。本章以一份激光染料表结束。

最后，Hänsch 写的关于染料激光应用的第五章给出了广阔的当前应用范围的想法，并提出了未来发展的前景。

全体作者都试图使各章尽可能地自行齐备，以便对它们能够独立地阅读，虽然这要以有少许的重复做为代价。

### 1.1 有机化合物的一般性质

有机化合物定义为碳氢化合物及其衍生物。它们可以再分为饱和化合物和非饱和化合物。后者是以它们至少有一个二价或三价键为其特征的。这些多价键不仅在化学反应上意义重大，它们也影响了光谱性质。没有二价或三价键的有机分子一般吸收波长在 160nm 以下，相应的光子能量为 180kcal/mole，这一能量高于

大多数化学键的离解能,因此容易发生光致化学分解,所以,在激光中用这类化合物做为激活媒质不是很合适的。在非饱和化合物中,所有的键都是由 $\sigma$ 电子构成的; $\sigma$ 电子的特征是其波函数相对于键方向(即:以键相连接的两个原子核联线的方向)具有旋转对称性。双价(以及三价)键也包含一个 $\sigma$ 键,但是此外还要用 $\pi$ 电子来形成键。 $\pi$ 电子的特征是:其波函数在原子核处有一节点,并相对于一根直线具有旋转对称性,此直线通过原子核,并垂直

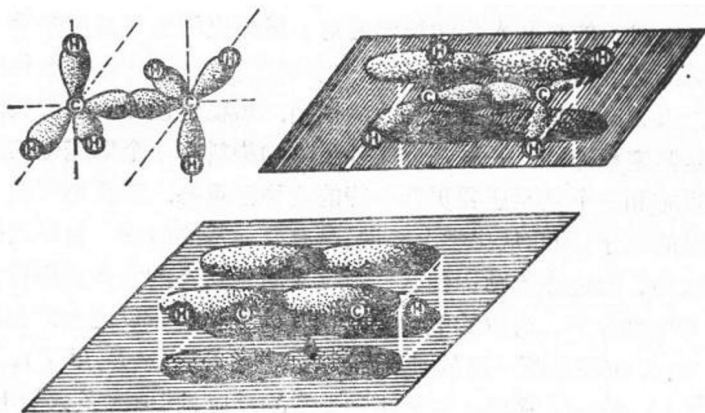
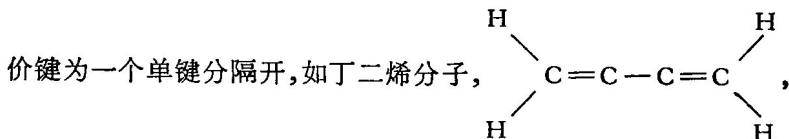


图 1.1 乙烷、乙烯和乙炔中的轨道和键

于碳原子或杂原子的三个 $\sigma$ 电子轨道所张的平面(图 1.1)。一个 $\pi$ 键是几个 $\pi$ 电子轨道的侧边重叠而形成的,当这些轨道的对称轴平行时它是极大。因此,在这一位置键能最高而分子能量最小,从而给出一个具有高度刚性的平面分子结构来。如果两个双



则两个双键称为**共轭的**。具有共轭双键的化合物还吸收波长 200nm 以上的光。所有的染料按其字面的本意,意味着在光谱的可见部分有高的吸收,它们都具有几个共轭双键。光被具有共轭

双键的化合物所吸收,不论这些化合物的波长最长吸收带在那里,是在红外、可见,还是近紫外,它们的机理都是一样的。因此,我们在较广的意义上使用染料这个词,用以包括所有的具有共轭双键的物质。在本书中,无论在何时使用染料这个词,它都具有这一意义。

在本章的其余部分,我们把有机化合物一般性质的讨论局限于染料,因为在可预见的将来,这是有可能成为可用的激光激活媒质的唯一的有机化合物。

染料的热和光化学稳定性对于激光应用来说是最为重要的。然而,随着化学结构几乎是无穷多种的变型,这些性质变化得如此之大,以致得不出普遍有效的规则。热稳定性和吸收的长波极限是紧密相连的。一种在近红外吸收的染料有一个低能位的激发单重态和一个甚至还要更低一些的亚稳三重态。三重态有两个未配对的电子,因此从化学上来说,具有二元基的特性。有足够的理由认为,通过热激励达到这一高反应激活状态的大多数染料分子将与溶剂分子、溶解的氧、杂质或其他染料分子反应而产生分解产物。反应将是二级,反应常数  $k_1 = A \exp(-E_A/RT)$ , 其中  $A$  是 Arrhenius 常数,对于此种类型的反应,其值大多数是  $10^{12} \text{sec}^{-1}$  (从  $10^{10}$  到  $10^{14} \text{sec}^{-1}$ ),  $E_A$  是激活能,  $R$  是气体常数,而  $T$  是绝对温度。这一染料在溶液中的半寿命于是为  $t_{1/2} = \ln 2/k_1$ 。假定最小的实际寿命为一天,上述关系给出一个激活能值  $24 \text{kcal/mole}$ , 相应于波长为  $1.2 \mu\text{m}$ 。如果  $A = 10^{10} \text{sec}^{-1}$ , 则把波长移到了  $1.7 \mu\text{m}$ , 而当  $A = 10^{14} \text{sec}^{-1}$  时,就将对应于  $1.1 \mu\text{m}$ 。如果我们假定染料的最小实用半衰期为一年 ( $A = 10^{12} \text{sec}^{-1}$ ), 我们得到波长为  $1.0 \mu\text{m}$ 。

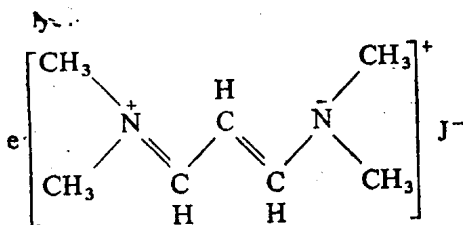
显然,要想找到其长波吸收带极大值在红外  $1.0 \mu\text{m}$  之外的稳定染料将变得越来越困难,而要想制备一种吸收在  $1.7 \mu\text{m}$  之外、且在室温溶液中又是稳定的染料则简直是没有希望的。这样,在室温下染料激光器在红外区的运转将限制在波长超出  $1.0 \mu\text{m}$  不很远的范围。

已经暗示过,染料激光器运转的短波极限是由一些染料的吸

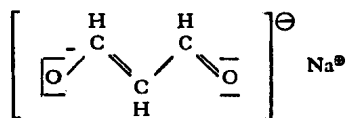


收决定的，这些染料只有两个共轭双键，且其长波吸收带位于约波长 220nm 处。因为荧光（因之激光器的发射）总是要红移的，很难期望染料激光器能在波长低于约 250nm 下运转。即使我们试图应用只有一个双键的化合物，就象乙烯，它吸收在 170nm，我们最多也只能期望激光发射达到 200nm。然而在这个波长，光化分解已经有效地在与分子的辐射退激活相竞争，因为吸收的量子能量高于分子的任何一个键的能量。

染料的另一种重要分类是分成离子化合物和非荷电化合物。这一特性主要地决定了熔点、蒸汽压和在不同溶剂中的溶解度。已经提到的一种非荷电染料是丁二烯， $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ；其他例子是大多数芳香族化合物，葱茈、花等。他们一般熔点相对较低、蒸汽压相对较高、在非极性溶剂（如苯、辛烷、环己烷、氯仿等）中溶解性良好。阳离子染料包括一大类的花青染料，例如，简单的花青染料



这些化合物都是盐类，包含阳离子和阴离子，所以他们的熔点高，蒸汽压很低，在较为极性的溶剂如酒精中溶解度良好而在极性差的溶剂中只稍有溶解。对于阴离子染料，例如染料



可以做出类似的论断。很多染料随溶液的 pH 值不同能够以阳离子型、中性和阴离子型分子存在，例如，荧光素：