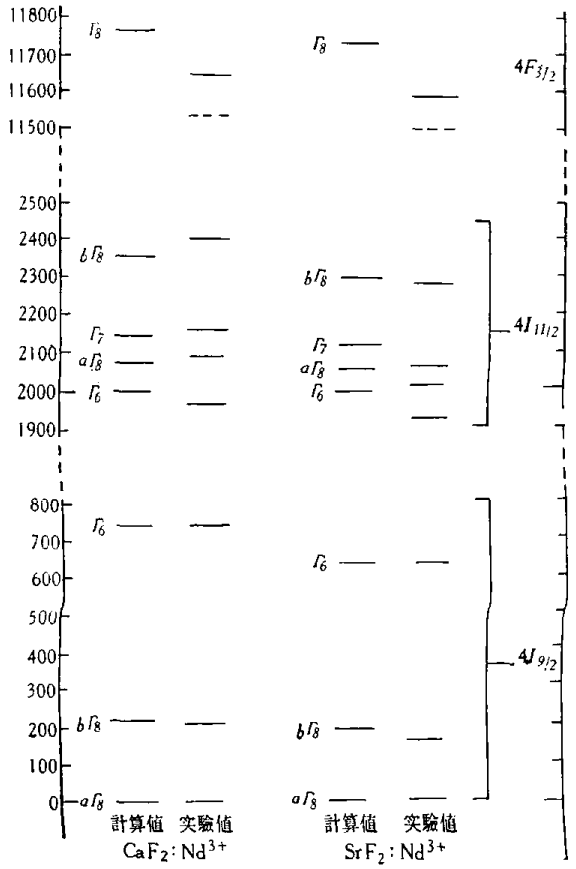


图 1

首先，Феофилов 解释 4 条、5 条尖鋭的螢光光譜是由激发态 $^4F_{3/2}$ 的分量(±3/2、1/2)向基态 $^4I_{9/2}$，$^4I_{11/2}$ 跃迁的結果。这就等于說 $^4F_{3/2}$ 已經分裂了；而 $^4F_{3/2}$ 在立方場作用下是不分裂的。其次，前人所作的三氯化物晶体中摻 Nd^{3+} 的离子光譜[4]計算，相互間的价态是补偿的，計算結果与实

表 2 $SrF_2:Nd^{3+}$ 的实驗值与計算值

$^4F_{3/2}$—$^4I_{9/2}$				$^4F_{3/2}$—$^4I_{11/2}$			
$\nu_{实}$	$\Delta\nu$	$\nu_{计}$	$\Delta\nu$	$\nu_{实}$	$\Delta\nu$	$\nu_{计}$	$\Delta\nu$
11578				9659		9739	
11490	79	11735		9579	80	9681	58
11423	76	11534	201	9524	55	9614	67
10946	477	11068	466	9303	221	9434	170
				9219	84		

驗符合得很好；而現在 CaF_2、SrF_2 中摻入 Nd^{3+} 离子，价态就不补偿了，可能周围有一个 F 离子被氧离子所取代，也可能周围多了一个 F 离子，于是 Nd^{3+} 就不再处于純立方場中了，則在立方場作用下，不能分裂的 $^4F_{3/2}$ 也就随之分裂了。此外 Sierro[5] 在最近的报导中，也指出了在 CaF_2、SrF_2 晶体中的离子不仅受到立方場的作用，还受到軸对称場、三角場的作用，这表明 CaF_2、SrF_2 摻 Nd^{3+} 比三氯化物情形更加复杂。

志謝：毕无忌、黄烈荣同志参加了部分工作，作者表示感謝。

[1] Карисс Я. Э. и Феофилов П. П., *Опт. и Спектр.*, I/1963/169.
[2] Wybourne B. G., *J. Chem. Phys.*, **32**, 639 (1960).
[3] Wybourne B. G. *J. Chem. Phys.*, **34**, 279(1961).
[4] Judd B. R., *Proc. Roy. Soc.*, **A251**, 134 (1959).
[5] Sierro J., *Phys. Letters.*, **4**, 178 (1963).

瞬时大功率紅宝石受激光发射器

呂大元　王之江　余文炎　唐貴琛　张义山

一

采用調变受激光发射器的品质因数——"調 Q 值光閘"——而获得巨大功率的輸出，是 1961 年以来常用的方法[1]。最近 E. R. Peressini[2] 改用"增益光閘"，也得到良好效果。

調 Q 值的光閘，通常采用 Kerr盒[3] 或轉鏡[4]，两者各有优缺点，本文报导的器件是用轉鏡法的。

轉鏡法的鏡子轉速一般在 25,000 r.p.m. 以上，有高达 950,000 r.p.m. 者[5]。对于发光时間的量测，大都用双綫示波器，限于仪器的时間常数，量测难准，且亦不能对发光物質的一定区域之发光过程进行探討。有用高速轉鏡照相法[6]或用象轉換照相設备[7]对受激光作分析研究的，但未涉及到大功率的輸出。

二

我們的器件不同于前人者有二点：

1.旋轉稜鏡的轉速只有 19,000 r.p.m.，但諧振腔长度則达 1 米；

2.輸出的輻射，經过狹縫，利用 3 米的球心成象系統，輔以轉速为 7,800 r.p.m. 的轉鏡，使狹縫象的扫描速度(或称"时散")为 2×10^{-7} 秒/毫米，稍加快轉鏡轉速，时散甚易达到 8×10^{-8} 秒/毫米。能量的测量用炭斗为接收器，这对大功率輸出的量测頗为不利，量出的能量偏小。

用长 55 毫米、直径 8 毫米、Cr^{3+} 0.05% 的紅宝石，利用上述腔的裝置，测得：輸出功率为 5—7 兆瓦，发光延續时間为 30—40 毫微秒，輸出能量为 0.2—0.21 焦耳。較之不調 Q 值时的峯值功率(估計为 10^4 瓦)約大两个数量級。值得提出的是：調 Q 值(以后称动态)和不調 Q 值(称靜态)两者輸出輻射的发散角基本上是一致的(約为 3/1000 弧度)，可見每单位立体角內功率确实提高。

三

对于影响大功率輸出的有关因素——延迟时間、稜鏡轉速、腔的长度、光閘开放的上升时間——作过系統的試驗，可以提出如下的几点看法：

1.在紅宝石和光泵固定的条件下，无論腔之长短或稜鏡轉速之快慢，最好的推迟时間（本实驗为 300 微秒）是不变的(較之靜态的起振落后时間約大 1.6—1.7 倍，此系調 Q 值的必然結果)，但灯的发光时間只利用了一小部分，推迟时間已不能再向后移，虽将由于光子的增益而引起高能态寿命縮短以及溫度升高等因素考虑进去，高能态的表观寿命似仍然过短，此事曾有人討論过[8]，其解释难以訊为满意。

2.在紅宝石和光泵固定的条件下，如腔长不变，仅将稜鏡轉速加大，則由于 Q 的时变曲綫陡度变大，輸出的发光时間有显著的压縮（图 1，2，3），

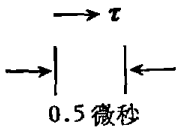


图 1　腔长 1 米，稜鏡轉速 19,000 r.p.m.

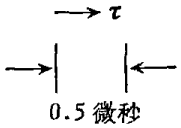


图 2　同图 1，稜鏡轉速 15,000 r.p.m.

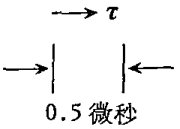


图 3　同图 1，稜鏡轉速 5,000 r.p.m.

同时輸出能量也有所提高，此对大功率器件自屬有

利；再如稜鏡之轉速固定，将腔逐漸拉长，同上述理由，发光时間也必大大压縮(图 4，5)。二种方式引起的效果有所不同，是由于单程增益要求的时間长短有别之故。对此，Hellwarth[8]曾半定量地討論过，但关于这两种現象的差别及其細致的解释，則未見报导过。另外，腔之拉长自有限度，光子的来回振蕩必須有足够次数，以滿足应有之增益方可。Karlson 等[9]也对腔长与脉冲数的关系作过試驗，但被認为腔拉长后脉冲数之減少是由于受限于轉鏡面积，遮断了几个脉冲所致。由于总的发光时間小于轉鏡所容許的振蕩时間，因而这种見解是有問題的。

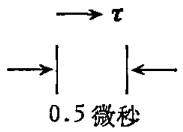


图 4　稜鏡轉速 19,000 r.p.m., 腔长 600cm

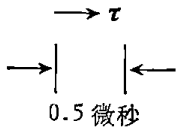


图 5　同图 4，腔长 400cm

3.光閘开放的上升时間（即轉鏡允許之轉角。在一米长腔时，角度为 7 分，当稜鏡轉速为 19,000 r.p.m. 时相当于 10^{-6} 秒），显然要大于实际的脉冲发光时間(本实驗为 3—4 × 10^{-8} 秒)；当腔长变短或稜鏡轉速变慢时，上升时間必随之加长，但两者的变率不是綫性关系，脉冲发光时間的变化远大于腔长或轉速的变化。当轉速高时，从起振时間开始，光子在低 Q 值的腔内停留时間变短，增长率变大，消耗反轉粒子数变快，脉冲发光时間大大变短是很自然的。

4.大功率輸出的脉冲内部之結构有其特点，它不同于靜态輸出者在于：任何一个发光地点，不能在整个脉冲过程中始終維持发光。其最长的发光时間大約是 10^{-8} 秒，最短者約为 10^{-9} 秒，此似为弛豫脉动时間。

四

关于靜态輸出的情况，可作如下的簡述：

本器件輸出的脉冲估計共約 100 个，每个发光时間最短者为 0.3 微秒，最长者为 0.8 微秒；脉冲頗密，时間間隔約为 1—5 微秒(图 6)，約可認为是振蕩所需的反轉粒子数重行建立所需的时間。当腔失調时，脉冲稀疏，間隔为 4—9 微秒，每个脉冲的发光时間变长，最长者达 4 微秒(图 7)。

从发光区域論，由图可見宝石中心部分发光最强，延續时間最久，此系宝石質量、光泵照度和溫度等条件皆对中心部分的振蕩有利之故。有兴趣的

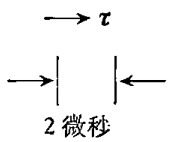


图 6　腔长 1 米，部分靜态輸出

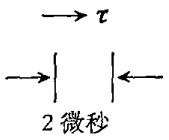


图 7　腔长 1 米，靜态失調时部分輸出(与图 6 同一发光阶段)

是：个别脉冲內部出現发光区域移錯現象（图 8），就某一固定区域来看，两发光相隔时間約为 10^{-9} 秒，此时极短，粒子再累积而重行发生振蕩是不可能的。此現象或系沿宝石的軸綫方向上各点由于光学均匀性不一样、灯的照度有差别、溫度有梯度等等，以致各点的发光先后有别，造成发光的間隔。

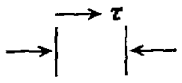


图 8　靜态輸出脉冲內部移錯現象

五

曾将此器件的輸出对苯、硝基苯、二硫化炭等物作 Raman 散射試驗，結果是靜态輸出（1—1.5 焦耳，10^4 瓦）不能产生 Raman 散射譜綫，而大功率輸出（0.2 焦耳，5—7×10^6 瓦）則能发生前人所已見到的散射譜綫[10,11]（图 9）。

志謝：吳鴻兴同志帮助我們作了不少实驗，特此致謝。

(c)

图 9　大功率輸出(0.2—0.21 焦耳，5-7×10^6 瓦)产生的 Raman 散射(图上箭头所示)，比較光譜为氛譜。(a) 苯，(b) 硝基苯，(c) 二硫化碳

[1] McClung F. J., Hellwarth R. W., *Bull. Amer. Phys. Soc.*, **6**, 414 (1961).
[2] Peressini E. R., *Appl. Phys. Letters*, **3**, 203 (1963),
[3] McClung F. J., Hellwarth R. W., *J. Appl. Phys.*, **33**, 825 (1962).
[4] Collins R. C., Kisliuk P., *J. Appl. Phys.*, **33**, 2009 (1962).
[5] *Electronic News*, **7**, No. 341 (1962).
[6] Hughes T. P., *Nature*, **195**, 4839, 325 (1962).
[7] DeMaria A. J., Gagos R., *Appl. Optics.*, **2**, 807 (1963).
[8] McClung F. J., Hellwarth R. W,, *Proc. IEEE*, **51**, 46 (1963).
[9] Karlsons D., Falvey T., *Appl. Opt.*, **34**, 3407 (1963).
[10] EcKhardt G., Hellwarth R. W., McClung F. J., Schwartz S. E., Weiner D., Woodburg E. J., *Phys. Rev. Letters*, **9**, 455 (1962).
[11] Giordamaine A., Howe, J. A., *Phys. Rev. Letters*, **11**, 207 (1963).