

这种类型的激光调制器可以应用，但目前由于效率太低，因而不完全满意。以调制半导体结的折射率为基础的类似装置正在研究。

目前研究工作的另一内容是用于通讯系统接收端的合适的光探测器。具有能响应入射的光束而发射电子的表面的真空管已制成，它属于光电倍增管的一类。对于可见光谱区相当有效。但在红外区它的效率下降。另一种探测器是以半导体结制成的，它由与射入光波能量成正比的把电子释放到低频电路中来响应光。

旨在寻找较好的探测器、调制器和激光器的研究工作的主要内容是寻找新工作物质。为了进一步了解各种物质的性质，并找出一种制备较纯物质以及在排列整齐的单晶体中严格控制已知微量杂质的技术，冶金学家、化学家和物理学家已经投入研究。在激光器出现之前，还没有研究物质的这些性质的必要。除提出这种需要之外，激光器还提供了以过去不可能的新方法研究物质的可能性。激光输出特有的单色性，使得用光谱方法研究许多物质的能级成为可能。

尽管激光长距离通讯有许多优点，但它在经济上和现有通讯系统的竞争可以预料是非常激烈的。要在商业方面获得成功的通讯试验不是仅仅能在光谱的可见区进行通讯就够了。组合同轴电缆、微波无线电和波导系统，可以提供一個等价的超宽带系统。往后很多年，这样一个联合系统能够满足人类所预见的通讯需要，并且具有各种重要优点：由于偶然事故损失整个通讯系统的危险性较小。此外，任何新系统不仅必须以比现有系统更低的代价工作，而且还预见到对现有系统要作各种改进。过去的十年，晶体管和其他固体器件已经变革了原有的通讯系统，而现在，在这个有两年寿命的真空管被有二十年寿命的固体器件取代的时代，激光器又必须投入竞争。

然而，也可以预见，激光器会参与固态装置的变革。固体激光器已经存在，尽管它们在光谱纯度方面还不如气体激光器，但这种局面似乎正在改变。电通讯历史的超载趋势已趋向于更大的带宽和更高的频率，因为已经证明，应用宽带系统比应用具有同样通讯总量的平行窄带系统经济很多。根据这一趋势判断，我们预料激光器在未来的长距离通讯方面将起重要作用。

原载 *Scientific American*, 1966, 214, №1, 19~27 (唐士清、吴际华译, 王焕卓校)

## 激光器损坏的原因及防止方法

G. A. Hardaway

激光器既已成为商品，而不是古董，则其可靠与可重复性能就象输出功率一样重要。红宝石与玻璃激光器的损坏，常常可追溯至以下原因之一或更多：

- 闪光灯。
- 激光棒。
- 腔材料。

- 灯或棒受热过度。
- 腔或元件中有污物。

设计者如在控制这些临界因素上下了工夫，就能造出可保持性能的激光器，即使在高重复率时也是如此。此种非 Q 开关的固体激光器可以经受 500,000 次放电。

下文依次考虑这些危险领域。

## 两 类 氙 灯

非 Q 开关系统的寿命目前最大的限制是闪光灯。通常所用的两种闪光灯为直管或螺旋管氙弧灯。其全长由 2 吋至 2 米，孔径 4~30 毫米，输入从 100~100,000 焦耳。

螺旋管氙灯可较直管灯承受较高的输入电压，但其光泵效率较低，因为从腔壁反射回的能量消失在灯中。直管灯在椭圆腔中的效率较高，故设计者常采用。

在早期的闪光灯试验中，寿命从 25 次到 1,000 次放电，但目前由于设计谨慎，100,000 次放电的寿命也不稀奇。为了达到这样的性能水平，必须满足下列要求：

- 端面封结必须加以保护，以免漏气。
- 必须避免反向电流。
- 必须将峰值电流控制在灯的极限以内。
- 电流上升时间一定不能超过灯所能承受的速度。
- 冷却系统必须将灯所产生的热充分散掉。

## 封 接 保 护

端面封接通常是焊接或石英至金属的逐级过渡结构。两种封接法均有其限制。但在高重复率时证明焊封较为有用，由于它可以使电极传导冷却。

然而焊料的熔点低是个缺点，必须设计出这样的系统，使封口处于腔外，以便遮光和水冷。

封口会因为泵光本身或吸收电极的热而损坏。如无足够的冷却，端面封接在以较高能量泵浦时也会少许漏气。水冷通常会消除这一弊病。

## 额 定 电 流

由于阴极较阳极发射得多，闪光灯便会极化，而且只在一个方向通过电流时才不会损坏。电流反转是破坏灯的最快的原因之一。使灯与脉冲形成电路/能量贮存单元形成阻抗匹配，则可完全防止。

椭圆腔中的最佳能量转换由尽可能小的灯直径产生。在大多数应用中，还需要尽可能高的能量输入。可惜，此两参数相互矛盾，因为孔径小，就意味着爆灯额定功率低（如图 1 所示）。

最常用的直管氙灯弧长较短，因而较同样的螺旋灯需要的电流多。6~13 吋的灯有时需要的电流多达 4,000 至 6,000 安。这一数值大大高于用在某些标准石英灯管的爆炸电流。

在峰值电流超过爆炸电流 60% 时，闪光灯的预计寿命便迅速缩短。超过 60% 时，即使其它参数全部最佳，灯的寿命通常也在 10,000 次放电以下。到达 80% 电平时，任何一次放电都可能发生爆炸。

到达安全电平的第一步是选择所需的脉冲持续时间。此种时间通常由应用的项目确定，Q 开关和气化金属所需的脉冲时间较焊接和加热等应用短。假定这个例子使用的是 1 毫秒脉冲，和 E. G. & G. FX47 闪光灯。

图 1 表示 FX47 石英灯管在 1,300 焦耳/时，或对 6.5 吋灯说来为 8,450 焦耳处输入能

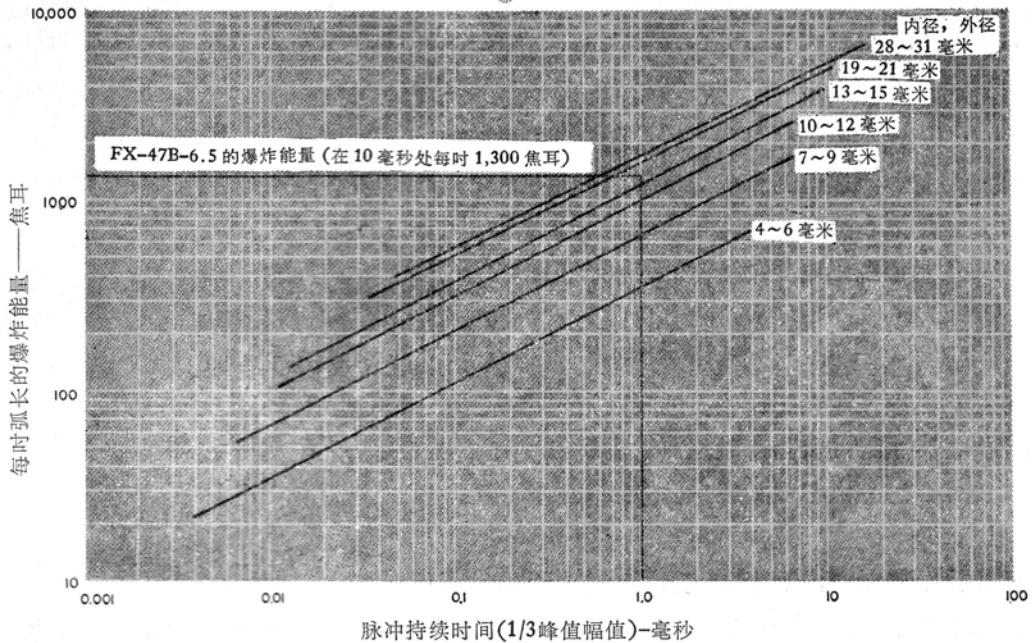


图 1 闪光灯爆炸时间。按石英管的内径与外径给出闪光灯的爆炸能量。以本试验使用的 FX-47 为例，内径为 13 毫米，外径为 15 毫米。所引的每单位时间的能量系对 1 吋弧长而言。

量 1 毫秒时爆炸。此值的 60% 为 5,070 焦耳。去除尾数为 5,000 焦耳，使之更加安全。

现在来确定脉冲形成电路。脉冲持续时间 ( $t$ ) 为已知，则电路的各个参数可用以下公式选择

$$t = 2 \sqrt{LC} \quad (1)$$

式中， $L$  = 总电感，

$C$  = 脉冲形成电路的总电容。

脉冲形成电路的阻抗 ( $Z_0$ ) 可由

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

得出。所需的贮存电容 ( $C_s$ ) 则由

$$C = \frac{t}{2Z_0}$$

算出。在这一场合，约为  $1,600 \times 10^{-6}$  法拉。

现在,  $C_S$  与  $E(5,000 \text{ 焦耳})$  为已知, 所需电压则由下式得出

$$V = \sqrt{\frac{2E}{C_S}} \quad (5)$$

所需电压约为 2,500 伏。峰值电流( $I_P$ )则可由

$$I_P = \frac{V}{Z_0 + R_C}$$

算出。式中  $R_C$  = 闪光灯在峰值电流的阻抗。因而, 安全的 60% 的电平约为 4,200 安。

实验证明 50 毫秒 (10~90%) 的电流上升时间会使电极溅射, 灯光产生裂纹, 或在石英管内造成“反向发射”。要克服这些缺点, 只需设计最少为 100 毫秒的最小上升时间的脉冲形成电路。但如使用过压触发, 则需用一种电路以阻止此种触发使电路的输出波形畸变。“安全”脉冲示于图 2。

### 腔材料选择

腔材料必须在激光工作物质的吸收带内有高反射率。各种手册的表格有时没有注明反射率随波长的变化。这一点必须加以考虑, 以便选择适当的材料。

例如, 比较抛光的铝板与银板; 在 5,900 埃处, 铝有 83% 的反射率, 而银则有 95%。在红宝石的吸收带——4,100 至 5,600 埃——中, 情况又不相同。银的反射率为 87%, 但铝的反射率则降至 70% 以下。显然, 对红宝石说来, 最好是选用银, 故银是最常用的金属。

但银本身却存在着一系列的问题, 其中最大的是如何保持其反射率。硫化物与大气中所含的水份, 在强烈闪光时化合, 会使银失去光泽。根据灯的输入情况, 这一效应在 100 至 200 次闪光内会使阈值增加 100% 以上。

解决的办法是不断地用干氮清洗。干氮在腔内造成正压, 阻止大气进入, 以免污染。清洗可使腔的寿命延长至 100,000 次闪光才需要重新抛光。

在高平均功率与 Q 开关激光系统中, 激光工作物质的内部结构极其重要。高重复率或高能运转有两个主要要求:

- 工作物质必须能将累积于其中的平均功率消耗掉。
- 不应当有色心或杂质区, 使加热不均匀, 从而破坏棒的内部。

钡玻璃与红宝石均有其特征缺陷。钡玻璃内部常有杂质和散射区。由于其导热性不良, 也受到耗散平均功率的限制。玻璃还受到闪光灯紫外光的损害。工作物质分子结构改变, 使玻璃呈特征性的棕色, 从而阻止激光作用。在闪光灯或激光棒外罩上派热克斯玻璃冷却套,

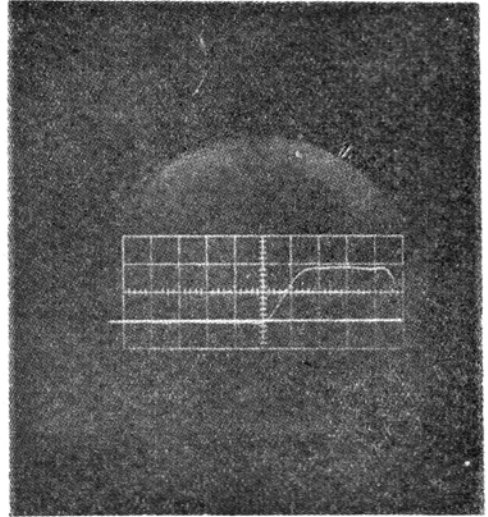


图 2 闪光灯的安全脉冲。示波器图表示约 4,000 安、150 微秒上升时间、850 微秒持续时间的一个脉冲。脉冲幅值小于闪光灯爆灯阈值的 60%; 上升时间较慢可使管不致产生裂纹或产生“反向发射”, 此种波形也不会产生使管损坏的反向电流。

或两者同时罩上，可帮助滤除有害的紫外光。

与通常从熔融物中生长的玻璃相反，红宝石是单晶，最常用的生长法是维涅耳焰熔法。由于其生长过程中出现大温度梯度，红宝石常有相当大的内应力与分子晶格畸变。两种工作物质内都发现有杂质。

如以高平均功率抽运红宝石，其内部缺陷可使棒破碎或开裂。高峰值功率的抽运则会在棒中造成气泡。这也许是在细微的杂质周围形成的。

不论使用玻璃还是红宝石，均应选择最无应力、结构最均匀的棒，且其中的杂质和散射区应最少。如图3与图4所示，棒的光学均匀性（亦即其结构的均匀性）可用马赫-陈德尔干涉仪来估价。掺杂浓度这种内结构沿棒的半径方向的变化造成工作物质内光程长的变化，产生干涉条纹。用户可用计数条纹数目的方式来判断棒的质量（如图4所示）；条纹最少，则棒的质量最好。令人吃惊的是，花样愈不规则，则光束的发散度似乎愈好。

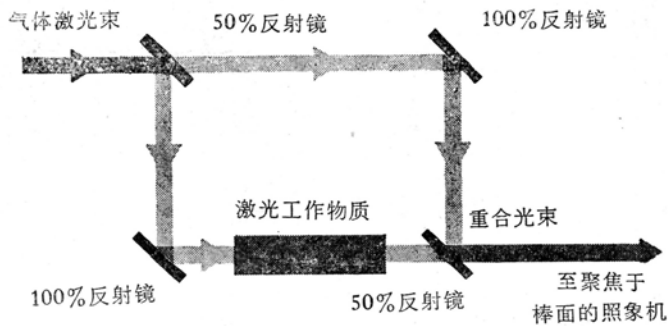


图3 检验固体激光工作物质的马赫-陈德尔干涉仪以连续波气体激光器作相干光源。由于激光棒内部的不连续性造成干涉仪两臂间的程差，在两光束会合时产生干涉条纹。样品的图案及其解释列于图4。照像机应从几吋外聚焦于棒面上，并应有一研磨过的玻璃焦平面以加速检查。

只凭条纹计数来选择激光棒，还不足以保证所选的红宝石的质量。散射区的小气泡与杂质常常检查不出。设计者可用 He-Ne 连续气体激光器沿棒轴照明，以确定这些缺陷的位置。当垂直于棒的长度进行检查时，散射区以小光亮点出现。如果这些点接近棒轴或其输出端时，在高功率、Q 开关运转中那里就会损坏。

其它的不规则现象也可以用这种照明来观察。有时，全棒一片朦胧。这样的棒便不能逸散大量的平均功率。高重复率会在其内产生陡峭的热梯度，使棒破裂。

所有这些应力、不连续性和杂质，在红宝石中远较玻璃中多。掺杂玻璃在掺杂浓度与光学质量上都均匀得多。但玻璃中的散射区却较红宝石多。

这些不同的缺陷都在棒内聚集引起破坏的热能。其挽救法是用水冷却。它不仅可促使整个棒的温度较为均匀，使其破碎可能性减少，也可以进行清洗，从表面与筒内去除小微粒。这些微粒最终会使棒凹陷。

棒的表面比圆筒易于损坏；表面存在着小缺陷意味着性能的大损失。如果输出表面有尘埃或其它渣滓，很快就会损坏。这些东西聚集热能并使表面凹陷。

在高能、高重复率运转中，圆筒和棒面都应浸在冷却液中。在低能或低重复率的运转

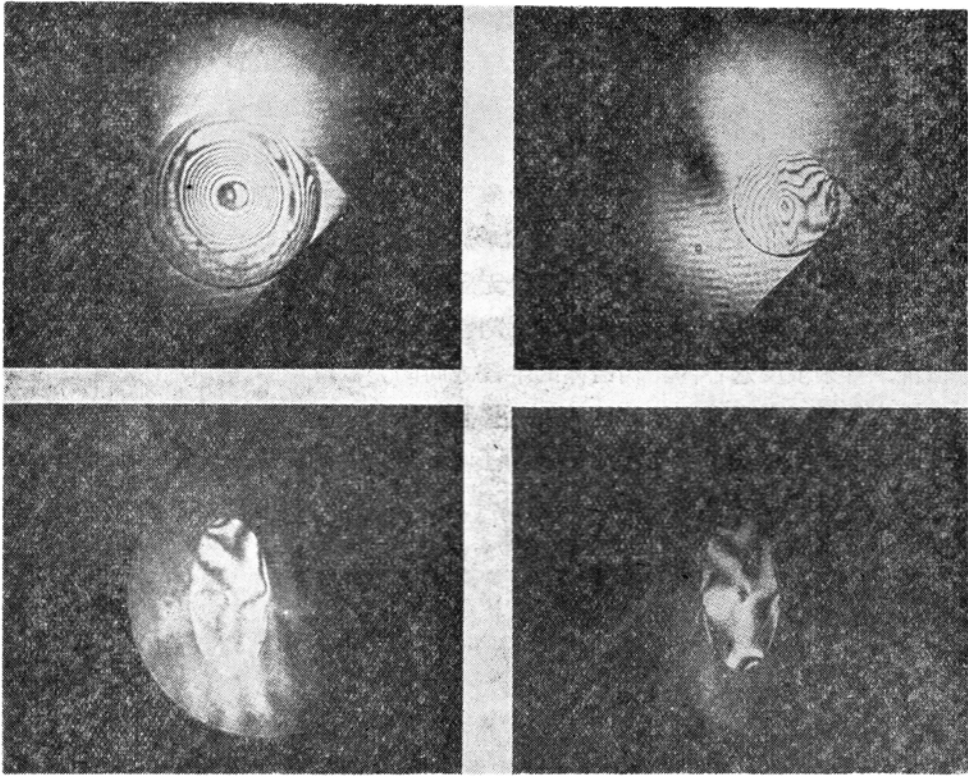


图 4 以条纹计数法选择棒。按晶体质量升高的次序从左至右列出三根红宝石的干涉图。左上美丽的牛眼图案表示晶体内产生内聚焦；在高功率应用中棒会损坏。右上干涉图表示较好的晶体：图案较不规则，条纹较少。下两图是一根具有布儒斯特角面的棒的图案。右下图的条纹数少，图案不规则(虽然棒本身是很规则的)表明此棒质量极好。这些照片均用图 3 所示的马赫·陈德尔干涉仪拍摄。

中，可用 O 形硅树脂环。在较高能量的应用中，这些环会在筒上燃烧，而且，在任何应用中，它们都不应接触抽运光。高能系统中棒的底座目前采用精密的青玉或金属设备。

### 激光棒为何损坏

已经稳定地取得每秒 1 个脉冲、50 焦耳的非 Q 开关输出，棒内并无损坏。采用适当的水冷时，并未发现变质。

在 Q 开关运转中，大部分是棒的内部结构损坏。此种损坏起因于外部光学系统未准直、丝状激光作用、受到限制的波型运转与棒的杂质。在大多数情况下，损坏以气泡的形式出现在小杂质周围。此种气泡立即出现，并使性能变坏。

在未经准直的系统中，不造成损坏可得的功率极低，具有布儒斯特角端面的棒特别是如此。

布儒斯特角棒带来几个特殊的问题。必须极其小心，以保持端面清洁，否则会产生极热点，使棒凹陷。

输出面也必须这样取向，使之不把光反射到腔内任何金属表面。输出光束的反射分量强度足以汽化金属。这些金属会溅射至端面，在第二次发射时，就会使棒凹陷。

## 掺杂物的破坏性

在 Q 开关运转中，重掺杂的棒损坏较多。在一次试验中，用三根红宝石，以 10 次/秒、0.1 焦耳输出、35 毫微秒脉冲宽度运转，其中有两根遭到内破坏，而第三根仅端面受些损伤。第一根是林德内部优质 (SIQ) 棒，第二根是林德标准质量棒，掺铬浓度为 0.05%。第三根来自阿道夫·梅勒 (Adolph Meller) 公司，掺铬浓度仅为 0.035%。

两根 0.05% 的棒内产生气泡，两端凹陷。在重新抛光过程中，两棒均折断，表明内部脆性增加。另一根红宝石仅两端有些凹陷。

0.035% 的棒显然达到较均匀的功率密度，较重的掺杂所产生的应力与更强的丝状激光作用则是 0.05% 棒损坏的原因。

有时也很难把损坏的原因说死了。两根  $7\frac{1}{8} \times 5/8$  吋的林德研制质量棒用旋转棱镜、可饱和元件组合装置进行 Q 开关。前反射镜为一石英平面。棒内气泡在 200 兆瓦峰值功率以下产生。在同一腔中，放入几根不同的 SIQ 棒，功率达到 500 兆瓦还未损坏。对这一现象的解释很多，从“生长法的困难”直到光束发散度减少等都有。

## 涂膜及其注意事项

如不用布儒斯特角，则以涂镀电介质的端面来减少反射。但是，即使是优质涂层，也有以下限制：

- 它们保留一定的反射率 (约 1%)，从而产生多次脉冲与集居数减少。
- 在使用过程中，它们的质量会劣化。

有些劣化是可以看见的，即使非 Q 开关的运转中也是如此。质量劣化通常产生在丝状激光作用区或热点处。此种退化常常是由于缺乏清洗所致。涂膜不好或不清洁，就会被几次 100 兆瓦的放电所破坏。

高功率系统的外部光学系统必须小心。这些棱镜与反射镜除非质量极高 (例如 Amersil 或与此相等的)，否则在使用不久以后，就会在顶点或内部损坏。棱镜或光学系统的材料必须按其吸收带加以选择。材料通常的透过率变化在 10,600 与 6,943 埃间。

考虑了这些问题以后进行设计，在红宝石系统中，每秒 20 次脉冲时，可达 1~2 焦耳，在每秒 1 次脉冲时，可得 200~300 焦耳的输出，内部损伤轻微甚至没有。从特选的棒获得的能量高达 1,500 至 2,000 焦耳。

使用特选的棒时，其性能可重复的上限在每秒 20 次脉冲时可能为 750 千瓦。玻璃也会达到 750 千瓦的水平，其重复率为每秒 30 次至 60 次。在这样的功率水平上，两种棒的寿命也许都很短。

据报导，Q 开关红宝石系统已有 1.5 千兆瓦的输出。这些系统中的大多数 (包括主控振荡器的功率放大器设计)，在发射几百次后，均发现内部损坏与棒面损坏。

Q 开关玻璃的最大峰值功率约为 350 兆瓦。在这种情况下，内部也许立即会产生气泡。