

## 玻璃光激光器

# 日本的玻璃光激光器

花田博\*

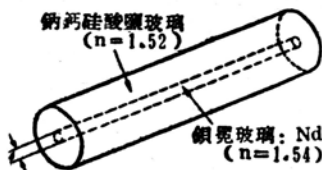
### 一、引言

从1962年1月末到2月，在早稻田大学、理化研究所和锦囊（Canon）照象机株式会社（公司，译注）等单位用日本自产的玻璃实现了光激光振荡。锦囊的光激光器是在东京大学生产技术研究所以保田教授的指导下，用小原光学玻璃制作所制造的玻璃获得成功的。和红宝石的情况不同，玻璃光激光器一开始就使用了日本产的玻璃。

本文将评述玻璃光激光器的发展过程和现状，并指出将来发展的趋势，同时，还涉及一些日本产的玻璃光激光器。

### 二、施奈泽的研究

玻璃光激光器研究的中心人物是美国光学公司的施奈泽（E. Snitzer）<sup>1)</sup>。1961年他在理论上证明可以利用对于光线起波导管作用的光学纤维来代替以前的法布里-珀罗谐振腔，进行光激光振荡，用来改进波型的选择性，降低阈值<sup>1)</sup>。为实现这种纤维光激光器，首先应该获得玻璃光激光器的振荡。同年末，施奈泽制成了从前认为很困难的玻璃光激光器<sup>2)</sup>，当时采用的玻璃棒形状如图1所示的具有外套的圆柱体，它相当于放大的玻璃纤维丝。所谓



0.3毫米及0.03毫米的二种

图1. 施奈泽所用的圆筒型玻璃棒

玻璃光激光器是指纤维玻璃光激光器和大型玻璃光激光器而言的。1962年秋，施奈泽在美国光学学会上作了关于大型玻璃光激光器获得大功率的实验报告。此后在1963年春季举行的光学会会议上又报导了用直径为5微米的玻璃纤维获得振荡的消息。这样，施奈泽始终站在玻璃光激光器研究的前列，所用的玻璃是在纯鍍冕系统玻璃中掺入百分之几的稀土元素钕。到目前为止，在各方面都发展着各种不同玻璃的光激光器。

\* 锦囊照象机株式会社研究部

### 三、玻璃光激励器的优点

同红宝石等晶体相比较，玻璃主要有下列优点：

- (1) 容易加工；
- (2) 能获得大体积的材料；
- (3) 材料的均匀性好；
- (4) 材料稳定。

如上所述，第(2)优点预示着制造大功率光激励器的可能性。第(1)优点使之容易研磨和易于制成纤维，以及直接用光激励器的玻璃本身作闪光灯。为了改进聚光性，并且降低阈值，将玻璃棒制造成筒壳型，即使这样也比红宝石的加工容易。

日本产的光激励器玻璃与施奈泽的掺铈玻璃类似，它首先着眼于第(3)个优点而制造的。日本制造光学玻璃的技术是比较先进的，如果利用这种技术，制造出具有光学玻璃水平的光激励器用玻璃则能获得非常单色的振荡结构，不象红宝石复杂，使得实验结果也易于解释，这时就可能开始考虑光激励器的相干性问题。最初获得振荡的玻璃是在实验室制造的，是非常不均匀的材料，(参见图2)。以后按工厂生产规模制造了光学玻璃级的玻璃(图3)，在东京大学生产技术研究所久保田研究室，研究过它的均匀性。在该方法中，用土魏曼(Twyman)干涉仪研究了干涉条纹。而对红宝石的实验结果在1963年春季物理学会已发表过。红宝石的不均匀性可参见图4，其干涉条纹很紊乱，显示出红宝石的不均匀性。如用这种红宝石棒产生振荡时，其振荡光的图样是很乱的<sup>3)</sup>。

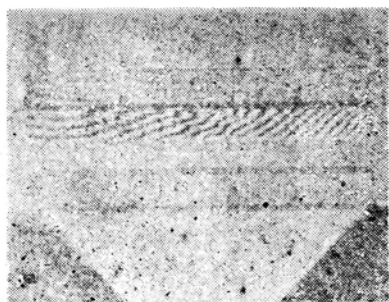


图2. Nd玻璃不均匀性的干涉图

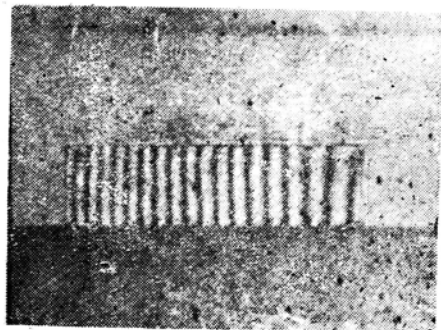


图3. 显示Nd玻璃材料性质的干涉条纹

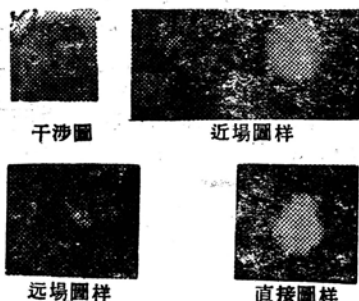


图4. 红宝石的不均匀性与振荡图样。  
左上方照片上的干涉的弯曲表示弯曲的程度

### 四、日本自产玻璃的振蕩

材料：銀冕玻璃摻0.5%的 $Nd_2O_3$ ，并經過充分的退火。

尺寸：是5毫米 $\phi$ ×50毫米的圓柱体，而不是具有外壳型的圓棒。

側面：拋光。兩端面的光潔度：小于可見光波长的 $1/10$ 。兩端面的平行度：約 $10''$ 。

端面反射膜：用銀和多层介电膜，一端对受激光波波长的透过率为0%，而另一端的透过率为2%。

用上述的玻璃棒获得了初步的振蕩。对振蕩起决定性作用的是材料，經多次的重复試驗之后才获得了成功。釹的含量是0.5%，比施奈澤的数值小一个数量級，但这并不是最佳的含量。以前称含有 $Nd_2O_3$ 的玻璃为鐠釹玻璃，用作滤光片，其吸收曲綫与光激射器用的釹玻璃非常类似（圖5），因为鐠釹玻璃中含有各种杂质，因此不能用做光激射器。

玻璃光激射器的振蕩波形如圖6所示，很相类似于 $CaWO_4:Nd^{3+}$ 的振蕩波形。当反复进行多次振蕩时，发现有閾值变高的傾向，二者在这一点上也非常相似，但其原因尚未十分清楚。

閾值能量与同样大的紅宝石棒的值大致相同或者略低。振蕩光是1.06微米的紅外光，然而很难清晰地攝下振蕩圖样。曾采用了象轉換管以及对紅外灵敏的感光板、紅外淬灭荧光板、残留圖象感光板等各种方法，但无论那一种方法也沒有很高的分辨能力。观察1.06微米的振蕩的时候，一般是用濾光片滤去杂光，除用干涉滤光片外，用IR-DI等也是合适的。

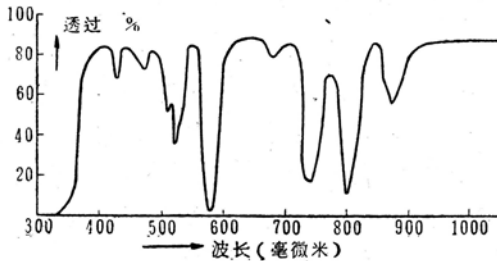


圖5. 釹玻璃的光譜透过率

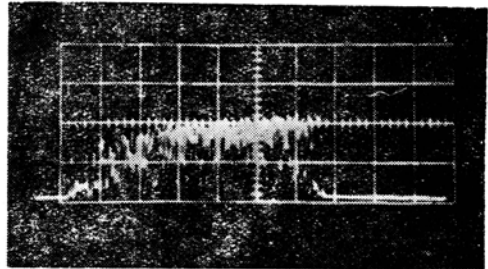


圖6.  $Nd^*$  玻璃的振蕩波形。

紅宝石是在 $Al_2O_3$ 基質中摻少量 $Cr^{3+}$ 。但在玻璃中摻 $Cr^{3+}$ 时可能得不到受激光发射。因为对銨等过渡金属來說，需要象 $Al_2O_3$ 那样强的晶格場。与此相反，对Nd等稀土元素來說，是內壳层軌道之間的跃迁引起发光，因而外場的作用显得不重要。将Nd摻入玻璃时，能否产生有效吸收，在初期并不十分清楚。为了制造纖維，用玻璃作光激射器所观察到的結果，証实获得了振蕩。在施奈澤发表作成玻璃光激射器以前，大概日本也曾有过人想用玻璃作工作物質，但沒有付诸实践。

### 五、玻璃光激射器的現狀

日本自制的玻璃光激射器已达到了較先进的水平，但至今还没有发表过全部結果。在文献所发表的范围內，玻璃光激射器的主要类型示于表1。

材 料	波 长 ( 微 米 )
Li-Silicate 玻璃 (鋰-硅酸鹽玻璃) : Gd	0.312
鉄 磁 玻 璃 : Sm	0.644
鉄 磁 玻 璃 : Eu**	0.644
硅 酸 鹽 玻 璃 (Silicate 玻璃) : Yb	1.015
硅 酸 鹽 玻 璃 : Yb, Nd	1.015, 1.06
銀冕玻璃(Barium Crown) : Nd	2.046
硅 酸 鹽 玻 璃 : Ho	2.046

\* 譯者注：原文为Md，应为Nd.

\*\* 譯者注：原文为En，应为Eu.

它們的大部分是在低溫下工作，而含  $\text{Nd}^{3+}$  离子的能在常溫下工作。因而在各种實驗中所用的玻璃几乎都是含  $\text{Nd}^{3+}$  的玻璃。对于  $\text{Nd}^{3+}$  玻璃的研究則更多，也曾进行过改变基質玻璃、降低閾值的試驗。

即，美国光学公司制造的鋇冕玻璃是：基質由 0.25 BaO, 0.15  $\text{K}_2\text{O}$ , 0.01  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  和 0.59  $\text{SiO}_2$  組成。国立研究實驗所 (N.R.L) 研究出的硅酸鹽玻璃的成分比是：0.074  $\text{Li}_2\text{O}^*$  , 0.296  $\text{MgO}$  , 0.05  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和 0.5  $\text{SiO}_2^{**}$  。

科达 (Kodak) 公司宣称，B-Ba-La-Th-Sr 玻璃中掺 Nd 的玻璃具有較低的閾值，并已开始出賣。德国著名的玻璃制造厂—萧特 (SCHOTT)—曾將含有 Nd 的硼硅玻璃和矽硼硅玻璃作为光激射器玻璃，在福特基納展出过。这里仅是 Nd 玻璃的一种，实际上基質是多种多样的。在某些情况下可选择容易拉出纖維的基質，而在另外一些情况下可选择燒結时很稳定的基質。在表 1 中的鉄磁玻璃是半元件公司 (Semi-Elements Inc.) 出品的新玻璃材料，具有磁性。

在日本，除上述的小原光学玻璃制造所以外，保谷玻璃制造所、旭玻璃制造所和日本光学股份有限公司也在进行研究，因而就玻璃材料而言，前景很好。

在应用方面，由于能买到均匀的大塊玻璃，因而可以代替紅宝石用在光学加工上。美国光学公司作的實驗，可以作为第一个例子。所用的玻璃是直径  $1/4$  吋，长 18 吋具有外壳的圓柱形棒，用大約一万焦耳的輸入能量进行直射閃光激发，获得 113 焦耳的大能量輸出。在这以前用紅宝石等所获得的最大能量輸出是 30—40 焦耳左右。

从玻璃光激射器射出的光是波长 1.06 微米的紅外綫，眼睛看不见，这一点和紅宝石不同，最近曾試圖將这种波长为 1.06 微米的輸出光經過 ADP 或 KDP 等非綫性材料，产生接近对視覚最灵敏的 5700 埃的二次諧波。尤其是利用“巨脉冲”，可提高产生諧波的效率，得到 1 万瓦的峰值功率的二次諧波。

如上表所示，也有直接产生可見光或者紫外綫的玻璃光激射器，但都需要在低溫下工作，有的必須冷却到液氮溫度，这是一件麻煩的事情。其他基質玻璃在化学上多是不稳定的，这也是很少被采用的原因之一。

\* 譯者注：原文为  $\text{Cl}_2\text{O}$ ，誤。

\*\* 校者注：原文为  $\text{SO}_2$ ，应为  $\text{SiO}_2$ 。

## 六、玻璃光激射器的展望

最初偶然地发现將  $\text{Nd}^{3+}$  从磷酸鈣 ( $\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$ ) 等晶体移入玻璃中也产生受激发射现象, 这一点直接启示了塑料光激射器, 进而启示了液体光激射器的可能性。现在利用与 Nd 同族的稀土元素  $\text{Eu}^*$ , 实现了塑料光激射器和液体光激射器。这种液体光激射器不仅在大小和均匀性方面不比玻璃光激射器差, 而且还可以有效地进行冷却, 因而有可能在光学加工以及連續工作方面比玻璃光激射器更有利。这样, 目前在光学加工上被認為有利的玻璃光激射器将来或許也被液体光激射器所代替。当考虑連續工作和光学加工的时候, 玻璃确实有可能退居为第二位, 但是在冷却問題不是很重大的情况下, 今后也还有可能被利用。尤其是在玻璃纖維光激射器中, 或許最能显示出玻璃的特点。站在玻璃光激射器研究最前列的施奈澤在报告中也提过这一点。据他宣称, 曾用直径为 5~100 微米的具有外壳的鈹玻璃纖維获得了振蕩, 发现在很細的纖維中, 光激射振蕩以波导管中的波型出现。将这种纖維光激射器的輸出射入另一个纖維光激射器, 得到了放大。现在还不完全清楚光激射器的用途, 因而对玻璃光激射器的将来談論很多是不可能的, 但是作为纖維光激射器的玻璃光激射器具有明显的特点, 或許将来会获得很大的发展。

## 七、結 束 語

會希望用具体資料叙述玻璃光激射器的发展, 但是在日本, 1963 年春季仅获得振蕩, 发表的資料很少。

估計各方面的研究已深入一步, 但其詳情只能期望于今后的报导。本文如对讀者有些参考价值, 作者将感到荣幸。

### 参 考 文 献

- 1) E. Snitzer, J.A.P. Vol 32, №36, 36 (1961).
- 2) E. Snitzer, Phys. Rev. Lett. Vol 7, №12, 444 (1961).
- 3) 花田博, 朝仓利光, 应用物理, 7 月号 (1963).

譯自电子工业, 12, 647—653 (1962).

崔敦杰譯 林青柏、崔凤柱校

\* 譯者注: 原文为 En, 应为 Eu。