无机液体激光器的参量及其特性(二)

中国科学院吉林应用化学研究所　洪广言　赵淑英

前文[1]指出为提高无机液体激光器的效率和输出性能需使电感、电容、电压有良好的匹配，介质膜透过率要选最佳，谐振腔长度合适和取用一定的石英光管内径。为适应中小能量液体激光器件应用的需要，我们在此基础上作了一些补充和深入。主要实验结果如下：

(1) 无机液体激光工作物质的特点之一是激活离子 Nd^{3+} 容易掺入，我们制备了 $POCl_3$-$ZrCl_4$-Nd^{3+} 体系的不同 Nd^{3+} 浓度(0.1M、0.2M、0.3M、0.4M)激光溶液，测得不同 Nd^{3+} 浓度时的荧光寿命，发现在我们实验的条件下 Nd^{3+} 浓度对荧光寿命无显著影响，这与 A. Lempick 所报导的不同。测得不同 Nd^{3+} 浓度时输入能量-输出能量曲线，看到随着 Nd^{3+} 浓度增加输出能量增加、效率提高和阈值降低，但观察到粘度和发散角有所增加。我们建议在中小能量激光器中选用 0.3M Nd^{3+} 激光溶液为宜。

(2) 测定了 1% $K_2Cr_2O_7$、1% $NaNO_2$、H_2O、0.05% 若丹明 6G、5% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 等五种滤光液和 $POCl_3$-$ZrCl_3$-Nd^{3+} 激光溶液(包括钕玻璃)的吸收光谱，以及在各种滤光液条件下无机液体激光器的输入能量-输出能量曲线。

用 5% $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 水溶液滤光时，在 3000～5000 埃之间全部透过，而 7000 埃以后全部吸收，这样吸收了 Nd^{3+} 主要吸收带(～8000 埃左右)的泵浦能量，而对导致工作物质升温的紫外光却很少吸收，因此输出能量和效率均极低。

用 0.05% 若丹明 6G 水溶液滤光时在 6000 埃附近开始全部透过，这样虽能滤掉紫外光，但其吸收了 Nd^{3+} 5800 埃左右吸收带的泵浦能量，因此输出能量与效率仍较低。

用 H_2O、1% $NaNO_2$、1% $K_2Cr_2O_7$ 等水溶液滤光时分别在 ～3000 埃、～4000 埃和 ～5400 埃前全部吸收，它们对 Nd^{3+} 吸收泵浦能量没有影响，并能滤掉一定的紫外光。由于滤掉的紫外光的能力 1% $K_2Cr_2O_7$ > 1% $NaNO_2$ > H_2O，因此输出能量和效率 1% $K_2Cr_2O_7$ > 1% $NaNO_2$ > H_2O。

(3) 12 边形聚光筒用于无机液体激光器已有介绍，并引起人们的注意。我们比较了 12 边形和圆柱形两种聚光筒的情况，实验结果表明在相同条件下圆柱形聚光筒的输出能量大于 12 边形聚光筒，而且阈值也较低，故我们认为从加工简便和得到较高的输出能量的角度出发，采用圆柱形聚光筒比 12 边形好。

参 考 资 料

[1] 中国科学院吉林应用化学研究所，《激光》，1975 年，**2**，No. 2，20 页

自 由 电 子 激 光

中国科学院电子学研究所　李小琼

自由电子激光的激光介质是自由电子本身，辐射能量属于自由-自由跃迁，这种跃迁是可以人为地控制的，不象固有激光器的激光介质是固体、液体或气体，它们的辐射跃迁被限制于固定的、数目有限的能级范围之内，属于束缚-束缚或束缚-自由的跃迁，这些激光器所发射的辐射频率仅在有限的范围以内，而自由电子激光却能够调节自由电子的能量，任意调谐激光的频率，原则上自由电子激光可以从几百微米到 X 波段获得受激辐射。

自由电子本身的能量可以很高，储能问题不受激光介质的发热效应及激励能量的吸收效率的限制，因

而可以有很高的能量或功率输出。如果高能电子束来自加速器的储存环，电子可以反复使用，原则上自由电子激光的效率可以很高。

产生自由电子激光的两个主要过程是：①由高能电子束产生自发辐射过程，②由自发辐射产生受激效应的过程。第一个过程有韧致辐射效应、契林柯夫效应、磁同步辐射效应与电子回旋辐射效应等。第二个过程有受激康普顿散射效应、受激韧致辐射效应、受激喇曼散射效应、受激契林柯夫效应等。

各种受激过程主要是外加泵浦波（电磁波）与电子束的相互作用，使辐射电磁波产生一个辐射的增长率，这就是受激效应的实质问题。研究自由电子激光的中心问题，就是如何使这个辐射的增长率加强。

目前自由电子激光的理论研究，无论从经典理论或量子理论出发，仍然不够充分，有待理论与实践的相互渗透与补充，以期获得更完整的理论基础。

最后，提出了实现自由电子激光的几个可行的途径，指出了自由电子激光诱人的前景与强大的生命力；值得我们重视。

自由电子产生X射线激光的方案

上海市激光技术研究所　邱明新

本文提出一种新的自由电子激光的概念，称为受激同步辐射。这里同步辐射名词是利用已有的，自发同步辐射已成为一种特殊的光源。本文采用经典的方法，利用自发辐射系数与受激辐射系数之间的 Einstein 公式，并利用自发同步辐射辐射功率的公式[1]，求得自发辐射系数和受激辐射系数。若电子能量是近单色的，则激光的下能级是空的，处于集居数反转状态，可产生受激辐射。同时，电子也可以吸收光子跳到更高的能级，因为更高的能级也是空的。因此，在受激辐射的同时产生吸收，纯增益是两者之差，在临界波长附近的纯增益为

$$g_{纯}(\lambda_c)\approx\frac{\sqrt{3}Ne^2C}{4\pi R\varepsilon_0}(J+K) \tag{1}$$

式中 N 为受激辐射和吸收参与的电子总数，e 为电子电荷，C 为光速，R 为轨道半径，ε_0 为电子静能，$J+K$ 为一系数，λ_c 为临界波长

$$\lambda_c=\frac{4\pi R}{3}\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}\right)^3 \tag{2}$$

式中 ε 为电子能量。

(1)式表明激光增益与波长无关，当 R 为 100 厘米，电子数为 10^{10} 时，纯增益 10^5，可使从红外到 X 射线波段宽带可调。激光器装置与回转电子加速器相似，电子垂直于磁场作圆周运动，光路是与电子轨道相割的多边形，每边割圆周角 $\Delta\theta\sim\sqrt{1-\beta^2}$，$\beta=\frac{v}{c}$，$v$ 为电子速度。多边形光路顶点处放置反射镜。在 X 射线波段用 Bragg 晶体作反射元件，满足 Bragg 条件的电子能量为

$$\varepsilon=\left(\frac{2\pi R}{3b\sin\frac{\pi}{n}}\right)^{1/3}\varepsilon_0 \tag{3}$$

式中 b 为晶格常数，n 为正多边形边数。

受激同步辐射获得 X 射线激光将是准连续的，例如 3×10^{-8} 秒，而内壳层电子激励方法为 10^{-15} 秒脉宽，在产生和使用上前者比后者方便多了。电子经作用后减速，减速的电子引入储存环，加速后再引入作用环，产生第二个脉冲。

参 考 资 料

[1] 《经典场论》，伊凡宁柯著，黄祖洽译，第 239 页。