

氟氯系列折射率匹配液的研究和应用

杨 义 范滇元

(中国科学院上海光机所)

提要: 研究了氟氯系列折射率匹配液, 测量并考核了其各项性能。结果证明该系列和 KD*P 电光晶体能达到比氟碳系列更精细的匹配。降低了晶体界面的反射达 20 多倍, 透过率增加 10% 以上, 在冰洲石棱镜表面的匹配也取得满意的效果。

Study on FL-series index matching fluid and its applications

Yang Yi, Fan Dianyuan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The polychlorotrifluoroethylene oil index matching fluids were studied and their performances, such as refractive index, absorption, isolation, breaking load and stability measured. The results showed that they can match KD*P crystals much finer than other kinds of matching fluids. The refractivity at crystal interfaces was improved by over 20 times and transmissivity increased over 10%. The fluid can be used to match calcite prism and good results were obtained.

一、引言

电光开关在各种激光装置中有广泛的用途, 尤其在高功率激光聚变系统中更是关键的部件。常用的 KDP、KD*P、ADP 等晶体均易于潮解, 给实际应用带来很多问题。一个有效的解决办法是将晶体置于折射率相匹配的液体中。目前, 国外已有商品^[1], 国内亦有研制^[2, 3]。但具体的成份、性能、制备等迄今报道很少; 且已有的匹配液大部分针对重复率工作的小型器件。对大型高功率器件, 则要求更精细的匹配, 并能承受更高的功率

密度等。本文报道了我们选用的一种折射率匹配液——氟氯油系列, 我们对它的有关参数分别作了详细测量和考核, 并在实际应用中取得了良好的效果。除用于晶体匹配外, 还讨论了若干其它的应用, 例如冰洲石棱镜的匹配、磷酸盐钽玻璃的端面匹配以及能在强激光下使用的复合镜片的胶合等。

二、匹配液的选择和基本性能测量

具有折射率匹配功能的液体有很多种, 但必须同时满足下列条件才能用于电光

收稿日期: 1984年9月3日。

晶体匹配:

(1) 折射率应与所用晶体尽可能接近。它的意义不仅在于提高普克尔盒总体透过率,对大型高功率激光系统更重要的是还能改善通光表面的面形和防止高增益放大系统的自振,因此要力求更精细的匹配。

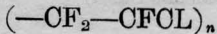
(2) 在 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $0.53\ \mu\text{m}$ 无吸收峰,且散射小。特别是在强光照射下(例如 $I \geq 3\ \text{GW}/\text{cm}^2$) 没有明显的受激散射。

(3) 能承受高功率激光辐照,不产生光致击穿和气化、分解等。

(4) 良好的绝缘性。在长期、反复的高压电场作用下能保持高的绝缘电阻。

(5) 极高的化学稳定性,和晶体、金属、玻璃、聚四氟乙烯等材料不发生任何化学作用。

经比较,我们选择了氟氯油系列。它是饱和的三氟氯乙烷低聚物,化学式为:



经高真空蒸馏,分割成不同的馏分,形成一个密度、粘度、凝固点由低到高的系列。我们挑选其中四个牌号对其参数逐一作了测量。

1. 折射率的测量

直接测得的是液体对钠线折射率 n_D 和色散率,再经下列色散公式修正:

$$N_\lambda = \frac{N_F - N_C}{\lambda_F - \lambda_C} (\lambda - \lambda_D) + n_D \quad (1)$$

其中 $\lambda_D = 589.295\ \text{nm}$; $\lambda_F = 486.13\ \text{nm}$; $\lambda_C = 656.25\ \text{nm}$ 。即可算出液体对任意波长的折射率 N_λ 。测量结果列于表 1。

表 1 FL-G 系列对 $1.06\ \mu\text{m}$ 波长的折射率

参数 型号	n_D	$n_F - n_C$	$n_{1.06\ \mu\text{m}}$
FL-G-5	1.3870	0.005845	1.371
FL-G-35	1.3914	0.005810	1.375
FL-G-100	1.3937	0.006061	1.377
FL-G-330	1.3975	0.006024	1.381

结果表明这四种牌号匹配液的折射率与 KD^*P ($N_e = 1.491$)^[4] 已相当接近。若以其中粘滞度适中的 FL-G-35 为例,晶体界面的反射已小于千分之二。所以氟氯油的折射率显著高于氟碳系列的匹配液,能较好地满足条件(1)。

2. 光吸收

对厚度为 $23\ \text{mm}$ 的匹配液样品,用扫描分光光度计测量,在 $1.06\ \mu\text{m}$ 到 $0.53\ \mu\text{m}$ 范围内无吸收峰。

3. 绝缘性能

为使 $1.06\ \mu\text{m}$ 的线偏振光旋转 90 度, KD^*P 晶体两端电极环上需加 $7 \sim 8\ \text{kV}$ 的脉冲高压。对 KDP 半波电压则高达 $17\ \text{kV}$ 以上。这就要求匹配液必须具备良好的绝缘特性和介电性能。为此我们专门制作了测量氟氯油耐压能力的油规。其中平行平面电极的直径为 $3\ \text{mm}$,极间距可调,测量结果列于表 2。

表 2 FL-G 系列的耐压特性

参数 型号	电极距(mm)	电压 (kV)	耐压时间 (min)
FL-G-5	1.0	≤ 17	< 1.5
FL-G-35	1.0	≤ 20	< 1.5
FL-G-100	1.0	> 20	> 1.5
FL-G-330	1.0	> 20	> 1.5

4. 稳定性

氟氯油的化学稳定性在产品说明书中已有叙述,我们着重考察它对普克尔盒中的铜电极、 KD^*P 晶体、聚四氟乙烯支架以及有机玻璃盒体等的影响。经六个月到一年的连续观测,未发现异常变化。电极间绝缘电阻始终保持在大于 $500\ \text{M}\Omega$ 的状态(电极环距离 $8 \sim 10\ \text{mm}$)。

另外,将液体盒放置在距离高能脉冲氙灯 ($75\ \text{J}/\text{cm}^2$) 管壁 $2\ \text{cm}$ 处,经数十次辐照无变化。

三、普克尔盒的总体性能

1. 结构

为适合使用折射率匹配液，我们对原有的变色硅胶干燥剂型普克尔盒作了工艺改进，其结构如图1所示。

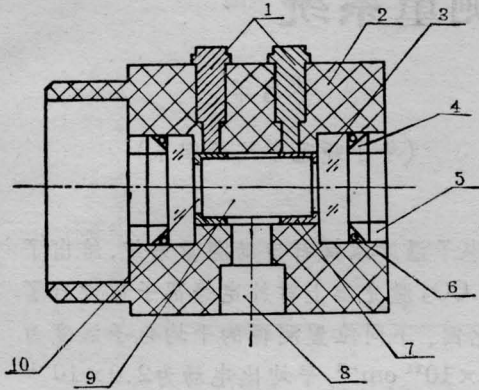


图1 晶体盒结构

1—电极引线柱；2—壳体；3—窗口玻璃；4—V形圈；5—压圈；6—密封圈；7—电极环；8—注油放气孔；9—KD*P晶体；10—匹配液层

此种晶体盒可适用于标准调节架。匹配液层约1.5mm厚，盒体可在调节架上作360°旋转，以便于精确调整晶体的 x 、 y 轴。

2. 极间电容

普克尔盒的极间电容对高压脉冲上升前沿有直接影响。我们用QS-23型数字式精密电桥进行了测量。对 $\phi 12 \times 20$ mm的KD*P圆柱，且电极环距离为10mm时，分布电容为4~5pF；对 $\phi 25 \times 48$ mm的KD*P柱，电极环距离为21mm时，电容为10pF。

3. 总体透过率

我们用磷酸盐玻璃调Q振荡器为探测光源，用微机控制的相对能量测量仪^[5]测量了普克尔盒的总体透过率。测得的透过率为94%。可见匹配液消除晶体端面反射的效果是十分显著的。剩余的6%损耗主要来源是KD*P晶体本身的光吸收。

4. 对强激光的负载能力

用此种匹配液匹配KD*P晶体界面的晶

体盒在 $\phi 16$ mm截面内，平均功率密度 $\geq 2.5 \times 10^9$ W/cm²的脉冲器件辐射下长期使用，经近千次照射，在透过率、消光比及绝缘特性等方面均无变化（但在连续器件的使用中发现有气化现象），甚至在局部光强 $\geq 6 \times 10^9$ W/cm²时，KD*P晶体本身已产生自聚焦丝状破坏，而匹配液不受损伤，仍能继续使用。所以对高功率脉冲器件是适用的。

四、讨论

前面的结果表明氟氯油系列能满足匹配液的基本要求。但对于不同的使用目的，应选取最合适的牌号。

1. 匹配晶体

为便于将匹配液灌注到晶体盒内并避免气泡，应选用低粘度的氟氯油，如FL-G-5。它的折射率比其他牌号略低，但流动性极好，且和晶体交界面上的剩余反射率也仅为0.18%以下，比不用匹配液时下降了20多倍。另一方面，使用匹配液后还大幅度地改善了有效面形。面形通常用“光圈数”来表示：

$$N = \frac{\alpha^2}{R\lambda} (n_2 - n_1) \quad (2)$$

式中 α 是通光面半径， R 是表面的曲率半径， λ 是探测光源波长， n_1 、 n_2 分别是表面两边材料的折射率。无匹配液时 $n_1=1$ ，有匹配液时 $n_1=1.371$ ， N 值减小4倍，局部光圈 ΔN 亦有同样的变化。

2. 匹配冰洲石棱镜

低粘度的氟氯油同样可以用来匹配冰洲石棱镜。由于棱镜的切割面和冰洲石的解理面不相重合，在加工和使用过程中往往会发生局部的微小剥落现象，这对表面局部平度产生严重影响。浸入匹配液后，可以在很大程度上减小这一影响，透过率亦明显提高。我们测量了洛匈棱镜盒的透过率，结果为：普通型的 $T=89\%$ ；匹配型的 $T=94\%$ 。我们还

(下转第40页)

表1 标准具、光栅、棱镜选模 XeCl 3080 Å 输出特性比较

选模元件	性能		光路	光阑孔径 (mm ²)	衍射极限 光束发散角 (mrad)	实际 光束发散角 (mrad)	最窄线宽 (Å)	最大能量 (mJ)
	全反射端	输出耦合端*						
自由振荡		用 20% 反射率的镜	直径 D=30	10 ⁻³	0.8×7.2	10	100	
			D=2.5	0.12	0.25×0.3	10	5	
标准具**	F ₁	F ₄	D=8	3.9×10 ⁻²		0.4	2.1	
			D=2.5	0.12	0.15	0.2	0.17	
	F ₁ 、F ₂	F ₄	D=8	3.9×10 ⁻²		0.1	2	
			D=2.5	0.12	0.15	1.14×10 ⁻²	0.15	
	F ₁ 、F ₂ 、F ₃	F ₄	D=2.5	0.12	0.15	1.14×10 ⁻²	0.056	
光 栅	1200 (线/mm) (5° 掠入射)	F ₄	D=2.5	0.12	0.25	0.1	0.12	
			2.5×10	0.12×0.03		0.2	1	
棱 镜	两个 60° 棱镜	F ₄	D=2.5	0.12	0.25	0.1	0.1	
			2.5×10	0.12×0.03		0.2		

*: 除自由振荡外均用 R=80% 耦合输出反射率。

**：各标准具参数：F₁: d=0.1 mm, R=75%; F₂、F₃: d=0.2 mm, R=75%; F₄: d=1 mm, R=90%。

参 考 文 献

- [1] O. L. Bourme, A. J. Alcock; *Appl. Phys. Lett.*, 1983, **42**, No. 9, 777.
 [2] T. J. Pacala et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1984, **44**,

No. 7, 658.

- [3] G. L. Micheal et al.; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 14, 2224.
 [4] A. 加塔克著(印度); “光学”, 梁铨廷, 胡宏章译, 机械工业出版社, p. 226.

(上接第 51 页)

安装了一台全匹配液盒的双级电光选脉冲开关(每级都由一对棱镜和一块 KD*P 组成), 共有六个匹配液盒。对 1.06 μm 锁模激光脉冲的总透过率测得为 69%。

3. 匹配磷酸盐铍玻璃

磷酸盐铍玻璃是一种高增益、低非线性折射率的优良激光工作物质。但耐潮能力差, 端面会因潮解而遭破坏。对小尺寸的棒(如 φ6×80 mm) 尚可用真空镀膜的方法解决, 对大尺寸的铍玻璃棒(如 φ70×500 mm) 就困难了。由于高馏分的氟氯油具有接近树脂的粘度, 可以作为有匹配功能的粘接剂使用。即把已增透的光学玻璃片用氟氯油直接粘贴在铍玻璃棒的两端。这样既保护了端面又减小了界面反射。牌号在

FL-G-330 以上的氟氯油适于此种用途。

此外, 由于高馏分氟氯油既具有高粘度又能承受高强激光, 所以可以代替加拿大胶来胶合复合透镜组。这种透镜组能克服原有胶合透镜不耐强光的缺点而在激光系统中使用。

上海有机所附属工厂糜同伦、莫国贤等同志热情提供各种试样, 中国科大实习生刘文旭同志参加了部分测试工作, 谨表谢忱。

参 考 文 献

- [1] *Laser Focus Buyer's Guide*, 1983-18th, Edition.
 [2] 邝社锡; 《中国激光》, 1983, **10**, No. 3, 191.
 [3] 董惠芳等; 《激光与红外》, 1983, No. 12, 37.
 [4] 常引秀等; 《激光与红外》, 1983, No. 5, 45.
 [5] 周复正等; 《中国激光》, 1983, **10**, No. 10, 735.