

# 利用液芯光纤的Kerr效应对高电压进行测量的实验研究

高淑琴 吴晓俐

叶海峰

(吉林工业大学物理系, 长春)

(吉林省电视大学, 长春)

**摘要:** 本文描述了利用液芯光纤的Kerr效应对高电压进行测量的实验方法和结果。液芯光纤是由空心石英光纤充入硝基苯构成。

A experimental study on high voltage measurement using  
Kerr effect of liquid-core optical fiber

Gao Shuqin, Wu Xiaoli

(Jilin University of Technology, Changchun)

Ye Haifeng

(Jilin TV University, Changchun)

**Abstract:** The experimental method and the results of high voltage measurement are described. In the experiment, the liquid-core optical fiber is filled with nitrobenzene.

## 一、引言

某些各向同性的透明介质在外加电场的作用下变为各向异性,表现出双折射现象,即Kerr效应。这一重要效应随着电场的产生与消失,很快地产生与消失,几乎没有延迟时间。利用这一特性可以制造灵敏度极高的光开关。然而,大多数非晶体物质的Kerr系数很小,限制了它的应用。液体硝基苯有大的Kerr系数 [ $2.43 \times 10^{-13} (\text{m/V})^2$ ] 可制成Kerr盒<sup>[1]</sup>,用于Kerr效应的研究。我们这里将硝基苯充入空心石英光纤中构成液芯光纤,由于液体物理性质均匀,光纤无内应力,模变换系数小<sup>[2]</sup>,保偏性好,多模液芯光纤也可以传播单模( $\text{HE}_{11}$ )几百米<sup>[3]</sup>。在传感测量中,液芯光纤有独特应用,我们用硝基苯液芯光纤观察了Kerr效应,进行了高电压测量。下面给出实验装置、原理和结果。

## 二、实验装置

我们采用了如图1所示的装置进行了实验,He-Ne激光器作为光源,输出光波长 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ ,通过1/4波片后获得圆偏振光,再通过偏振片获得线偏振光。长0.8m的硝基苯液芯光纤(其包皮石英折射率为1.448,内径 $80 \mu\text{m}$ ,外径 $180 \mu\text{m}$ ,硝基苯折射率为1.533)放在两平行铜板电极之间,检偏器使从光纤输出的光只能在一个方向通过,被探测器接收转

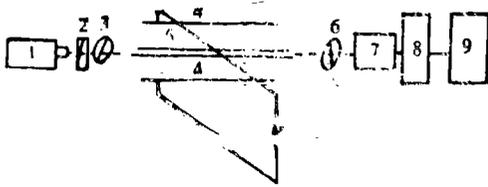


图1 实验装置图

- 1—He-Ne激光器 2—1/4波片 3—偏振片  
4—平行铜板电极 5—液芯光纤  
6—检偏器 7—探测器 8—放大器  
9—示波器

换为电讯号,由放大器放大。用示波器监测信号及其变化情况。平行铜板施加50Hz的交流电压,以产生强电场,用调压器改变施加电压的大小。

### 三、实验原理

在两平行板之间加上高电压,由于两平行板间距离很小,因此产生强电场。在强电场的作用下,硝基苯分子作规则排列,表现出单轴晶体那样的光学性质,光轴方向就沿电场的方向<sup>[1]</sup>。当线偏振光沿着与电场垂直的方向通过硝基苯液体时,分解为振动方向互相垂直的两束线偏振光,一束的光矢量垂直于电场,我们叫它o光,它的折射率没有变化;另一束的光矢量平行电场,我们把它叫e光,它的折射率随电场的变化而发生变化。其两折射率之差 $\Delta n = n_e - n_o$ 与电场强度 $E^2$ 成正比<sup>[4]</sup>。

$$\text{即} \quad \Delta n = kE^2 \quad (1)$$

$k$ 为Kerr系数。

通过液芯光纤后,两束光的位相差为

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta n L}{\lambda} = \frac{2\pi L}{\lambda} kE^2 \quad (2)$$

理论上,当起偏器方向与电场方向成 $45^\circ$ 角时,接收灵敏度最高<sup>[6]</sup>,此时过检偏器的光强为

$$I = \sin^2 \frac{\Delta\varphi}{2} = \sin^2 \frac{\pi L}{\lambda} kE^2 \quad (3)$$

光强最大值满足  $\frac{\pi L}{\lambda} kE_m^2 = \frac{\pi}{2}$

$$\text{即} \quad E_m^2 = \frac{\lambda}{2kL} \quad (4)$$

若两板间距离为 $d$ ,加的电压为 $V$ ,则最大光强的电压应满足

$$\frac{V_m^2}{d^2} = \frac{\lambda}{2kL} \quad \text{即} \quad V_m = \left( \frac{\lambda d^2}{2kL} \right)^{1/2} \quad (5)$$

这样两极板施加电压为 $V$ 时,过检偏器的光强为

$$I = \sin^2 \left[ \frac{\pi}{2} \left( \frac{V}{V_m} \right)^2 \right] \quad (6)$$

但因偏振光通过光纤时,由于模变换,理想的线偏振光是很难得到的,输出光一般为椭圆偏振光<sup>[6]</sup>,若长轴光强为 $r_1$ ,短轴光强为 $r_2$ ,这时(6)式变为:

$$I' = \frac{r_1 - r_2}{2} \sin^2 \left[ \frac{\pi}{2} \left( \frac{V + V_B}{V_m} \right) \right] \quad (7)$$

式中,  $V_B = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ .

值得注意的是: 液体硝基苯并不是充满电场整个空间, 而是充入空心光纤放入均匀强度场中的, 由拉普拉斯方程<sup>[6]</sup>可知, 芯中电场只是芯外电场的0.078倍。

四、实验结果

所用极板长 $L = 0.50\text{m}$ , 板间距离 $d = 2.8\text{mm}$ ,  $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ , Kerr系数 $k = 2.43 \times 10^{-18} (\text{m}/\text{V})^2$ 。我们观察了电压调制下的Kerr效应信号, 其大小与施加电压成比例变化。测得结果如图2所示。

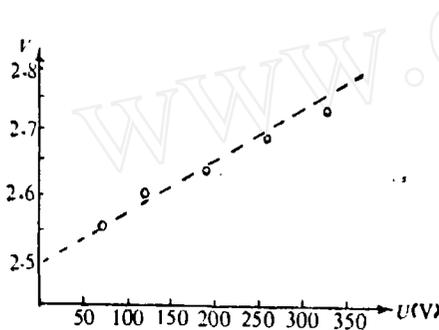


图2 输出光信号与施加电压关系图  
.....为理论曲线 O为实验测量值

从图2可以看出, 实验测量结果与理论计算值基本相符。因此, 用充有硝基苯的液芯光纤的Kerr效应可以对高电压(强电场)进行测量。

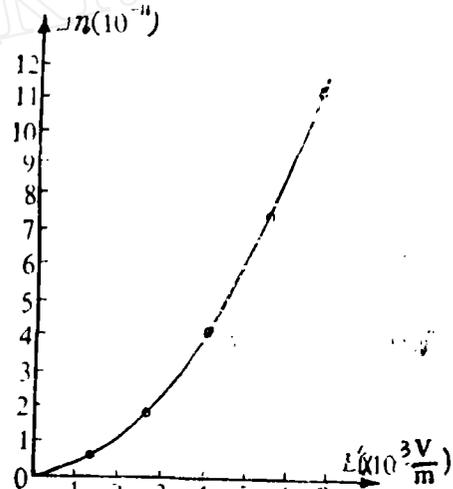


图3 E'与Δn的曲线

下面我们对光纤内由于电场的变化所引起的折射率的变化情况进行简单计算, 有关数据见表1。

表1

两极板间电压V (V)	50	100	150	200	250
两极板间电场E (V/m)	$17.9 \times 10^3$	$35.7 \times 10^3$	$53.6 \times 10^3$	$71.4 \times 10^3$	$89.3 \times 10^3$
光纤内电场E' (V/m)	$1.4 \times 10^3$	$2.8 \times 10^3$	$4.2 \times 10^3$	$5.6 \times 10^3$	$7.0 \times 10^3$
折射率变化 Δn	$0.49 \times 10^{-11}$	$1.9 \times 10^{-11}$	$4.1 \times 10^{-11}$	$7.6 \times 10^{-11}$	$11.9 \times 10^{-11}$

光纤内由于电场的变化所引起折射率的变化情况如图3曲线所示。

光纤内电场的变化引起光折射率的变化情况由于是二级电光效应<sup>[1]</sup>, 远小于某些各向异性晶体的一级电光效应的折射率的变化。尽管如此, 实验结果表明: 在这种情况下的光信号经高倍数放大转换为电信号后, 在示波器上足以能反映出光信号随电压的变化情况。这也正是为什么要选用Kerr系数大的硝基苯液体的原因, 否则Δn会更小, 实验很难成功。

实验中,我们注意了以下几方面:

1. 两极板尽可能处处平行,以保证电场均匀,避免放电现象发生,以提高电场强度。
2. 光纤要选择内壁光滑,半径均匀,测量中不要弯曲,以提高保偏性能。
3. 实验中要减少机械振动及外电场干扰,以保证信号稳定。

## 五、结 论

硝基苯有大的Kerr系数,充入空心石英光纤内形成液芯光纤,可用于观察Kerr效应和高电压(强电场)测量。若改善检测的电子系统,对液芯光纤弯曲造成的双折射进行补偿<sup>[7]</sup>,该方法可达到实用的前景。

## 参 考 文 献

- [1] 梁栓廷主编,物理学。北京:机械工业出版社,1980
- [2] Papp A, Harms H, Appl. Opt., 1977; 16 (5): 1315
- [3] Gambling W A, Appl. Opt., 1975; 14 (7): 1538
- [4] 杨照金,应用光学,1987; 6 (1): 44
- [5] Farrios Mc, Electro. Lett., 1983; 19 (21): 890
- [6] Kuribara M, Electro. Lett., 1983; 19 (4): 133
- [7] Papp A, Harms H, Appl. Opt., 1977; 16 (5): 1316

\*

\*

\*

作者简介:高淑琴,女,1946年2月出生。讲师。从事激光、光纤的物理应用的实验研究。  
吴晓俐,女,1954年12月出生。工程师。现从事应用物理的实验教学。  
叶海峰,男,1956年9月出生。讲师。现从事电子线路的实验研究。

收稿日期:1989年12月29日。收到修改稿日期:1990年4月26日。

• 简 讯 •

## 输出绿光的He-Ne激光器

加州欧州Melles Griot公司为需要第Ⅱ类激光器和最高视觉敏锐度的用户提供输出绿光的05 LGR 250型He-Ne激光器。其应用包括:复照学、彩色分离、干涉测量术、精确准直、建筑等方面。该公司声称,这种激光器在543.5nm波长上输出TEM<sub>00</sub>基模的纯度>95%,输出功率达0.2μW,平均长期功率漂移为±5%。该激光器的尺寸为φ1.375 in×9.25in。

译自L F World, 1990, Jul., 174

邹福清 译 邹声荣 校