

# 聚 N- 乙烯咔唑光敏片的全息记录特性

杨君慧 鄂云

(中国科学院物理所)

邱家白 丁瑞松 杜金环

(中国科学院化学所)

**提要:** 本文研究了聚 N- 乙烯咔唑光敏片的全息记录特性, 如振幅透射率~曝光量特性、分辨率、衍射效率和感光灵敏度等, 并用激光照出了全息象。

## Holographic recording characteristics of poly-N-vinylcarbazole photosensitive film

Yang Junhui, E Yun

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Qiu Jiabai, Ding Ruisong, Du Jinhuan

(Institute of Chemistry, Academia Sinica)

**Abstract:** A new non-silver haloid photographic system based on polyvinylcarbazole has been developed. Some holographic recording characteristics, such as  $T_A \sim H$  curve, resolution, diffraction efficiency and sensitivity, have been investigated.

激光技术在许多方面的实际应用往往受到记录介质现有特性的约束。常规卤化银胶片因成像物质的颗粒性, 光散射较大, 致使分辨率降低, 信息损失量较多, 并且曝光之后需要一系列药液处理。因此, 阅读速度低, 存储能力有限, 加之处理过程要在暗室中进行, 操作很不方便<sup>[1]</sup>。

六十年代发展起来的自由基型光敏片<sup>[2]</sup>, 因其光敏材料以分子状态分散在体系中, 是无颗粒性的, 具有极高的分辨能力, 国外已经制出分辨率高达  $10^4$  线/毫米的全息

记录用自由基片。这类材料能近实时地用光学方法原位显影(即曝光就出影像), 空间噪音很小, 信息存储量大, 可以得到无形变的全息图。并且能在某些安全灯下操作, 降低了对暗室条件的要求。但与溴银片相比, 灵敏度尚低。需要提高灵敏度才能满足全息记录实用要求。

不久前我们研制成功一种聚 N- 乙烯咔唑光敏片(简称 PVK 片)<sup>[3]</sup>。用它记录全息图比自由基片具有更高的衍射效率。

收稿日期: 1983年10月12日。

## 一、结构、成象机理和处理方法

PVK片是把既作为光敏剂又作为粘结剂的聚N-乙烯吡唑(PVK),活化剂四溴化碳(CBr<sub>4</sub>)和染料无色基母体等各组分共同溶解在有机溶剂内,配成一定浓度的均匀溶液,涂在聚酯片基上,经干燥而成。

到目前为止,我们已经研制出六种型号的PVK片。分别定为PVK<sub>01</sub>、PVK<sub>02</sub>、PVK<sub>03</sub>、PVK<sub>04</sub>、PVK<sub>05</sub>和PVK<sub>07</sub>。有关它们的成象机理可参阅[3],我们以PVK<sub>04</sub>为例,初步研究和测量了全息记录特性,所用变色剂是五甲氧基红。片子曝光时由原来的无色变为紫色。

### 1. 振幅透过率~曝光量特性

常规的感光特性曲线( $H \sim D$ 曲线)不能本质地反映全息记录材料的性能。因为全息影像不是由密度决定的,人们看到的全息影像是由穿过全息图结构之后发生改变的相干光的振幅分布产生的。所以,全息记录材料的感光特性是用振幅透过率~曝光量特性曲线(即 $T_A \sim H$ 曲线)来表示。已知光密度与强度透过率的关系是:

$$D = \frac{1}{\log T} \quad (1)$$

$T$  是强度透过率,所以

$$T = 10^{-D} \quad (2)$$

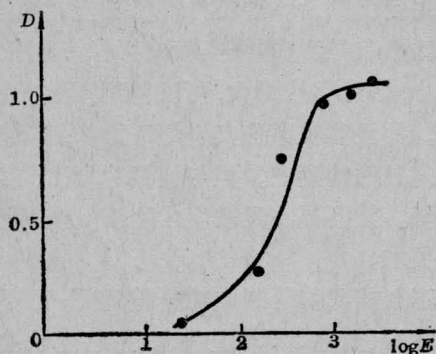


图1 PVK<sub>04</sub>片  $D \sim \log E$  特性曲线  
(光源波长 4880 Å)

在不同曝光量下测量PVK片的密度值,经计算得一系列相应的 $T$ 值。振幅透过率 $T_A$ 是单色平面波穿过光敏层前后振幅的比值,即透明度(强度透过率的平方根):

$$T_A = \sqrt{T} \quad (3)$$

测量使用 Ar<sup>+</sup> 激光 4880 Å 波段,曝光面总光强 100 毫瓦,感光面积 7 毫米<sup>2</sup>,所得有关数据列于表 1,  $D \sim \log E$  特性曲线如图 1,  $T_A \sim \log E$  特性曲线如图 2。

表 1 PVK<sub>04</sub> 片感光特性测量结果

曝光时间 (秒)	曝光量 (毫焦耳/毫米 <sup>2</sup> )	$\log E$	$D$	$T_A$	备注
2	28	1.4	0.03	0.96	Ar <sup>+</sup> 激光 4880 Å 光强 100 毫瓦 曝光面 7 毫米 <sup>2</sup>
5	71	1.9	0.04	0.95	
10	142	2.2	0.11	0.88	
15	214	2.3	0.12	0.87	
20	285	2.5	0.32	0.69	
25	357	2.6	0.33	0.69	
30	429	2.6	0.56	0.53	
40	571	2.8	0.71	0.44	
50	714	2.9	0.96	0.36	
80	1142	3.1	0.97	0.33	
100	1428	3.2	1.00	0.33	
120	1714	3.2	1.07	0.30	曝光面开始
160	2285	3.4	1.14	0.26	出现烧点

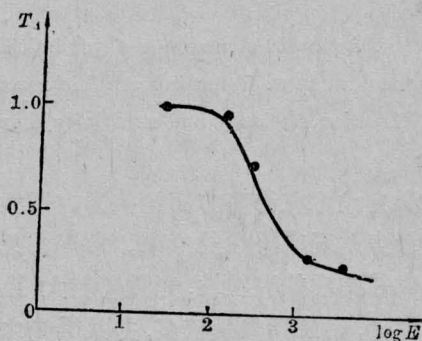


图 2 PVK<sub>04</sub>片  $T_A \sim \log E$  特性曲线  
(光源波长 4880 Å)

### 2. 分辨率和衍射效率特性测量

全息影像的质量与所用记录材料的分辨能力是很有关系的。因为全息图记录的是相干性光波的干涉条纹,这些条纹在再现时,起衍射光栅的作用,其精细程度相当于光源波

长的数量级，因而要求记录材料具有极高的分辨能力。

我们采用激光干涉法测量 PVK 片的分辨率，根据布拉格衍射法，则：

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta/2} \quad (4)$$

其中  $d$  是干涉条纹间距， $\theta$  是物波与参考波夹角， $\lambda$  是波长。

如果把分辨率理解为条纹间距的倒数，即认为  $R = \frac{1}{d}$  表示解像力，则：

$$R = \frac{2 \sin \theta/2}{\lambda} \quad (5)$$

因此，可根据光源的波长  $\lambda$ ，物波与参考波的夹角  $\theta$  来确定全息记录材料的分辨率。

全息图衍射条纹的质量对再现影像也有决定性的意义，可用衍射效率来测定衍射条纹的质量。所谓衍射效率  $\eta$  系指在一级衍射中再现物波的光强  $I_s$  与再现光源的光强  $I_0$  的比值：

$$\eta = \frac{I_s}{I_0} \times 100\% \quad (6)$$

衍射效率高表示有更多的再现光产生影像。我们用图 3 的光学系统，控制  $Ar^+$  激光光源输出恒定，进行相干性曝光，记录全息光栅。用 He-Ne 光 ( $6328 \text{ \AA}$ ) 读出，测量了 PVK<sub>04</sub> 片的衍射效率~分辨率特性。其结果见表 2 和图 4 所示。

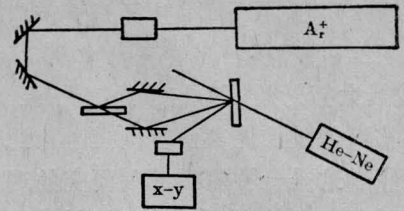


图 3 相干光成像系统

由表 2 可见，在相同测量条件下，一块样品的不同位置所得数据相差较大，可能是光敏层不够均匀所致。此外，记录光和读出光也不够稳定，也会影响测量结果。将各组数据求平均值，得不同分辨率情况下最大一级衍射的平均值  $\bar{I}_s$ 。在曝光量固定的情况下，不同分辨率的平面波全息图的最大衍射效率  $\eta_i = \bar{I}_s / I_0 \times 100\%$ 。 $\eta_i$  相对于  $\theta_i$  作图，得衍射效率~分辨率特性曲线。

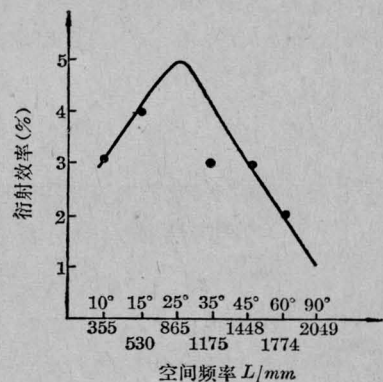


图 4 PVK<sub>04</sub> 片衍射效率~空间频率特性曲线 (记录光  $4880 \text{ \AA}$ )

表 2 PVK<sub>04</sub> 片分辨率特性测量结果

样品编号	测量位置	不同 $\theta$ 角时的 $I_s$ 值							读出光	记录光
		10°	15°	25°	35°	45°	60°	90°		
PVK <sub>04</sub>	1	12	27	17	29	20	42	7(格)	800(格)	4880 $\text{\AA}$
	2	21	27	18	23	35	2.5	8.4		
	3	31	41	60	24	36	2.3	3.5		
	4	18	31	71	31	23	42	19		
	5	38	31	38	8	1.8	2.8	5.6		
	平均 $\bar{I}_s$	24	31.4	40.8	25	23.2	18.5	8.7		
	$\eta$ 值	3%	4%	5%	3%	3%	2%	1%		



由图4可见, PVK<sub>04</sub>片的最大衍射效率约5%, 已经测得的分辨率高达2049线/毫米。就最大衍射效率的初步结果来看, 它比我们以往测量过的纯自由基型变色片约高一个数量级。这是一种值得深入研究的现象。

因时间和条件限制, 关于衍射效率~曝光量特性研究还很粗略, 在此, 仅给出一典型结果供参考。该结果是用图3的光学系统测量的。用PVK<sub>04</sub>片以4毫焦耳/毫米<sup>2</sup>的4880 Å Ar<sup>+</sup>激光记录全息光栅, 用He-Ne激光(6328 Å)作实时读出, 用x-y记录仪记录光栅的一级衍射光强, 所得结果如图5所示。

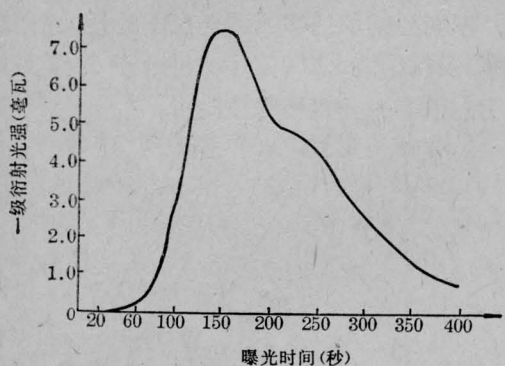


图5 PVK<sub>04</sub>片衍射效率~曝光量特性曲线

### 3. 感光灵敏度

如果我们把PVK片光敏材料当作振幅记录介质, 并把产生0.6密度级需要的曝光量定义为PVK片的灵敏度, 根据测量结果计算, 该值约为400毫焦耳/毫米<sup>2</sup>, 约比溴银全息干板个5~6个数量级。因此, PVK片的感光灵敏度有待进一步提高。

### 4. 全息存储实验

PVK片有极高的分辨率, 并能实时记录和读出, 是一种很好的全息存储材料, 我们

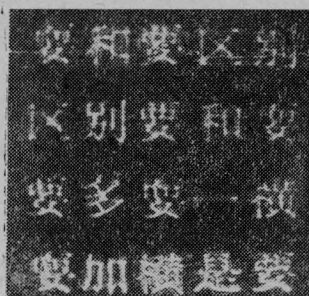


图6 PVK片全息存储再现结果  
(输入光强600毫焦耳/毫米<sup>2</sup>, 存储密度40字/毫米<sup>2</sup>)

用这种材料作了初步的全息存储实验。输入片为有文字的透明胶片。存储密度40字/毫米<sup>2</sup>, 输入光强为600毫焦耳/毫米<sup>2</sup>, 再现结果如图6照片所示。

PVK片记录的图像若要长期保存, 可用加热或溶剂等方法原位或离位处理进行定影。定影的基本原则是采用加热挥发法或溶剂溶解法把体系中残存的CBr<sub>4</sub>除去, 使片子失去继续进行光化学反应的能力, 图像便可长期保存下来。

## 二、讨 论

PVK片是一种新型的全息记录材料, 有极高的分辨率, 能实时记录和读出, 衍射效率较高, 但灵敏度低, 有待进一步提高。

在成文过程中, 承蒙我所郭础副教授的指导 and 关心, 特表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] 王艳乔等;《自然杂志》, 1981, 4, No. 11, 854.
- [2] В. М. Козенков и др.; Успехи науч. фотогр., 1978, 19, 142.
- [3] 丁瑞松等;《感光科学和光化学》, 1983, No. 1, 58.