

氢化非晶硅 pin 二极管型光寻址空间 光调制器的研制*

顾晓峰 黄信凡 杜家方 周进 李伟 陈坤基

(南京大学物理系, 南京 210093)

摘要 报道了用氢化非晶硅(α -Si:H) pin 二极管作光敏层, 扭曲向列型液晶(TNLC)作电光调制层的光寻址空间光调制器(OASLM)的设计、制作与性能测试。结果表明制得的(OASLM)分辨率大于 20 lp/mm; 在 300 lux 白光写入时对比度高于 25:1; 白光写入灵敏度约 3 lux。

关键词 氢化非晶硅, pin 二极管, 扭曲向列型液晶, 光寻址空间光调制器

1 引言

光寻址空间光调制器(OASLM)是一种能直接接收低强度的光图像并实时地将之转换成输出图像的传感器。它能方便地进行不同波长光之间、相干/非相干光之间的图像转换, 因此广泛应用于实时大屏幕投影, 实时光学相关及光学图像、数据处理等方面^[1,2]。OASLM 的主要部分是光敏层与电光调制层。自早期的休斯型(Hughes)光阀问世以来, 为提高其性能, 出现了许多新材料、新结构的 OASLM^[3,4]。其中氢化非晶硅(α -Si:H)是当前最引人注目的光敏材料。在系统地研究了本征和掺杂的 α -Si:H 的制备与性质的基础上, 我们设计并制作了以 α -Si:H pin 二极管为光敏层的反射模式 OASLM。

2 器件设计

制作的 OASLM 结构如图 1 所示。 α -Si:H pin 管作为光敏层其阻抗受写入光控制。当液晶层阻抗与其匹配时, 写入光同时调制了液晶层上的偏压。由于液晶的电光调制效应, 使读出光入射到液晶层后被高反膜反射出时产生与写入光相对应的光强分布, 从而可用检偏器获得对应写入信息的输出图像。CdTe 阻光层与 TiO₂/SiO₂ 多层介质反射膜有效地实现了读出光与写入光的隔离。

α -Si:H 是一种优良的光电材料。其吸收系统在太阳光能谱峰附近远高于单晶硅。在 AM₁ 的光照下光/暗电导比大于 10⁴。本征 α -Si:H 中光生载流子扩散长度较短。横向扩散小利于提高 OASLM 的分辨率。但纵向扩散短则不利于这类基于少子运动的器件。鉴于此, 设计了 α -

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1995 年 4 月 3 日; 收到修改稿日期: 1995 年 8 月 8 日

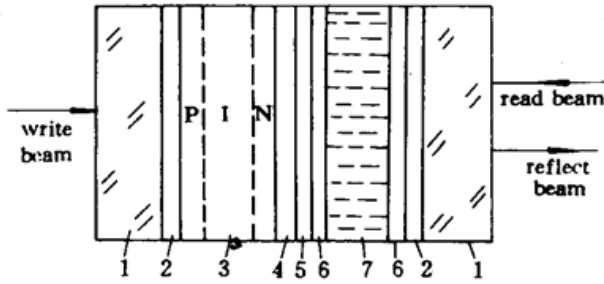


Fig. 1 A schematic structure of OASLM

1: glass; 2: ITO; 3: α -Si:H pin photosensor; 4: CdTe light blocking layer; 5: $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ reflecting multilayers; 6: SiO alignment layer for TNLC; 7: TNLC

Si:H pin 二极管结构光敏层,使光生载流子的运动形式由扩散为主变为漂移为主,从而弥补其纵向扩散小的不足,提高 OASLM 的响应速度。根据 OASLM 的等效光路^[5],我们分析了正常工作时各部分阻抗间的关系。结合实际制作情况,我们提出为保证写入光能有效调控液晶层上的偏压,要求满足以下的阻抗匹配条件

$$R_i > R_{LC} > R_L, \quad C_{Si} < C_{LC} \quad (1)$$

其中 R_i 、 R_L 分别是反偏时 pin 管的暗态及亮态等效电阻, R_{LC} 、 C_{LC} 分别为液晶层的等效电阻和电容, C_{Si} 为 pin 管的等效电容。

液晶层采用 BP-50 型扭曲向列型液晶。其电阻率约 $10^{10} \Omega\text{cm}$, 封装厚度 $7 \mu\text{m}$ 。因此 pin 管各层电阻率与厚度设计如下: p 层电阻率 $10^5 \Omega\text{cm}$, 厚度 25 nm ; i 层电阻率 $10^8 \Omega\text{cm}$, 厚度 $1.8 \mu\text{m}$; n 层电阻率 $10^2 \Omega\text{cm}$, 厚度 15 nm 。

3 OASLM 制备

α -Si:H pin 二极管是采用等离子体增强化学气相淀积(PECVD)方法,在具有挡板结构的单腔反应室中气相掺杂并连续淀积 p 、 i 与 n 层获得的。实验气源为纯硅烷 (SiH_4) 和氢稀释到 1% 的硼烷 (B_2H_6) 与磷烷 (PH_3)。各层生长的气体流量(单位 sccm)、淀积时间及反应室气压分别为, P 层: $\text{SiH}_4 : \text{B}_2\text{H}_6 = 4.0 : 10.0$, 10 min , 16.0 Pa ; i 层: $\text{SiH}_4 = 5.0$, 6 h , 10.6 Pa ; n 层: $\text{SiH}_4 : \text{PH}_3 = 5.0 : 30.0$, 5 min , 27.9 Pa 。衬底为蒸有氧化铟锡(ITO)透明导电膜的光学玻璃,有效面积 3.1 cm^2 。衬底温度 $250 \text{ }^\circ\text{C}$,射频功率 20 W 。

BP-50 型 TNLC 的定向层采用 SiO 膜。透明导电膜 ITO, 阻光膜 CdTe, 多层介质反射膜 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 及定向膜 SiO 均可用电子束蒸发或热蒸发获得。

4 性能测试

为检验所得 pin 管的光电特性,在样品 n 侧蒸上直径 0.5 mm 的点状铬电极。测量其暗态及光照下的伏安特性,如图 2 所示。由图可计算得 R_i 约 $10^8 \Omega\text{cm}^2$, R_L 约 $10^4 \Omega\text{cm}^2$; 而根据液晶层参数可知 R_{LC} 约 $10^8 \Omega\text{cm}^2$ 。可见满足条件(1)中 $R_i > R_{LC} > R_L$ 的设计要求。

测量 OASLM 的分辨率、对比度及写入灵敏度的光学系统如图 3 所示。测试时 OASLM 的工作电压为 $+5 \text{ V}$ 到 -5 V , 频率在 20 到 200 Hz 内的方波电信号。最佳工作频率在 200 Hz 左右。标准光学鉴别率板在白光照射下以 300 lux 的光强等大地成像在 OASLM 的光敏层上,在

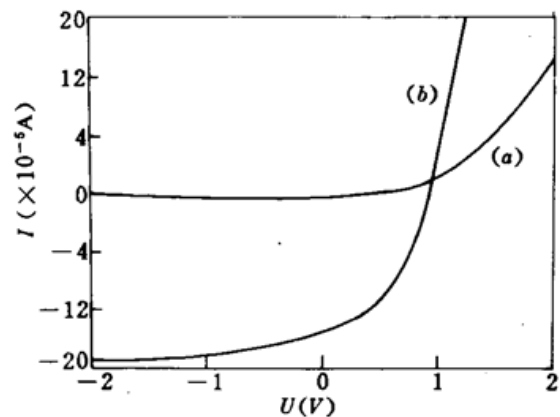


Fig. 2 I-V characteristics of an α -Si:H pin diode (a) in dark; (b) under the $1.8 \text{ mW}/\text{cm}^2$ illumination of a He-Ne laser

OASLM 另一侧, 利用 50 mW 的偏振 He-Ne 激光读出图像。图 4 所示为表示分辨率的照片。第

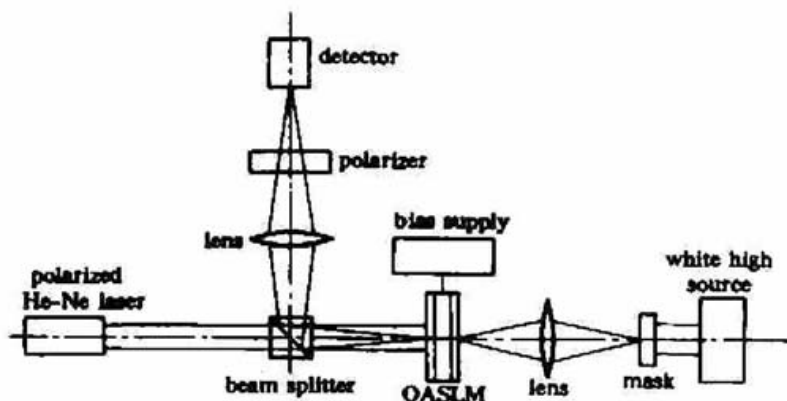


Fig. 3 A setup diagram for experimental testing of the OASLM

10 组图形对应 21.3 lp/mm。可见该 OASLM 的分辨率大于 20 lp/mm。OASLM 的对比度是指在



Fig. 4 Resolution of the OASLM
(Group 10 corresponds to 21.3 lp/mm)

最佳工作电压下对应一定写入光强时的读出光强与不加写入光强时的读出光强之比, 反映液晶层对光的调制能力及光敏层传递信号到液晶层的能力, 它与写入光强有关。在 300 lux 白光照射下利用硅光电池测得 OASLM 的对比度大于 25 : 1。同时测定了 OASLM 启动时的最低白光写入光强, 即写入灵敏度约 3 lux。图 5 所示为最小间距仅 0.25 mm 的叉指状精细电极掩膜图形经

OASLM 读出的照片。图像对比度高, 边缘清晰锐利。

另外, 我们利用 OASLM 进行了实时光学逻辑运算的试验。在一个实验光路里, 可以实时地实现两个二元图像 A 、 B 之间的所有十六种逻辑运算。图 6 给出了其中两个运算结果的照片, (a) 为 $A \cdot B$, (b) 为 $\bar{A} \cdot \bar{B}$ 。其中 A 是两根垂直放置的平行条, B 是水平放置的平行条。亮态代表正像, 暗态代表非像。

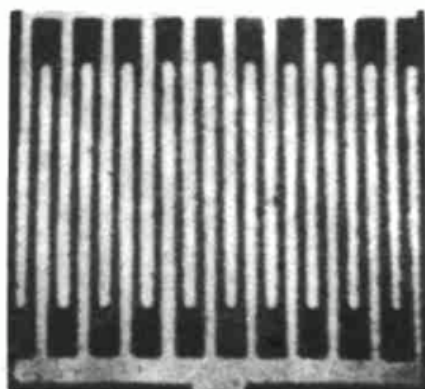


Fig. 5 The photograph of the fine electrode mask ($\times 9$)

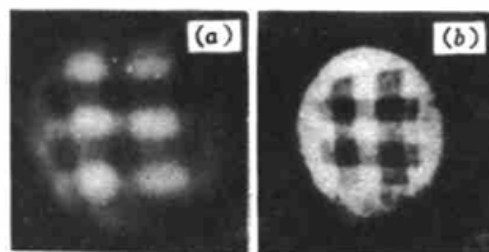


Fig. 6 The optical logical operating values
(a) $A \cdot B$; (b) $\bar{A} \cdot \bar{B}$

从图 4 到图 6 的这些照片可看出, 该 OASLM 具有良好的空间光寻址及调制成像能力, 获得的输出图像对比度高, 空间分布均匀, 不畸变失真, 边缘整齐清晰。在逻辑运算方面的实验结果也表明了 OASLM 在光计算领域有巨大的应用潜力。

5 结 论

成功制作了以 a -Si:H pin 二极管为光敏层、BP-50 型 TNLC 为电光调制层的 OASLM。其分辨率大于 20 lp/mm, 在 300 lux 白光写入时对比度大于 25:1, 白光写入灵敏度约 3 lux。同时利用该 OASLM 进行了实时光学逻辑运算, 获得了满意的结果。总之, 这类以非晶硅基合金为光敏材料的 OASLM 具有制作方便、性能高、成本低、应用广泛等优点。为进一步提高其性能, 拓宽其应用范围, 采用新的光敏及液晶材料, 新的结构形式的 OASLM 正在研究中。

参 考 文 献

- 1 N. S. Takahash, H. Asada. High-speed light valve using an amorphous silicon photosensor and ferroelectric liquid crystals. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, 51: 1233
- 2 P. R. Ashely, J. H. Davis. Amorphous silicon photoconductor in a liquid crystal spatial light modulator. *Appl. Opt.*, 1987, 26: 241
- 3 R. A. Rice, G. Moddel. A three terminal spatial light modulator optically addressed by an a -Si:H Photosensor. *J. of Non-Cryst. Solids*, 1989, 115: 96
- 4 J. B. Cherrien, P. Cambon. Use of N-I-P-I-N a -Si:H structure for bistable optically addressed spatial light modulator. *J. of Non-Cryst. Solids*, 1991, 137: 1325
- 5 G. Moddel, K. M. Johnson, W. Li *et al.*. Hydrogenated amorphous silicon spatial light modulator. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, 55: 537

Optically Addressed Spatial Light Modulator Using an a -Si:H pin Photodiode

Gu Xiaofeng Huang Xinfan Du Jiafang Zhou Jin Li Wei Chen Kunji

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract We report the fabrication and operation of an optically addressed spatial light modulator (OASLM), consisting of a hydrogenated amorphous silicon (a -Si:H) pin photodiode as a photosensor and a twist nematic liquid crystal (TNLC) as the modulating material. The intrinsic and doped a -Si:H films are deposited continuously by PECVD method in a reaction chamber with a shutter. The optical measurement indicates that the OASLM has a resolution of at least 20 lp/mm. The contrast ratio under the 300 lux illumination of white light is higher than 25:1. The white light writing sensitivity is about 3 lux.

Key words hydrogenated amorphous silicon, pin diode, twist nematic liquid crystal, optically addressed spatial light modulator