

a-Si TFT/PIN 图像传感器件*

赵 颖 熊绍珍 李 瑾 周祯华 李俊峰

(南开大学光电子所 国家教育部光学信息技术科学开放研究实验室, 天津 300071)

摘要: 在模拟计算以 a-Si TFT 为有源开关, 以 a-Si PIN 为光敏源的有源成像器件工作特性与各单元元件关系的基础上, 详细讨论了单元器件的材料、物理参数对 a-Si TFT/PIN 耦合对特性的影响, 并给出一定试验结果。用 LED 光源照射 a-Si PIN 的光电转换率可达 18.1nA/lx , a-Si TFT/PIN 有较好的线性度。

关键词: 有源选址; 非晶硅薄膜晶体管; 非晶硅光敏二极管; 图像传感器

EEACC: 7230

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2001)01-0083-08

出对器件特性有重要作用的实验结果。

1 引言

高开关比($I_{on}/I_{off} \sim 10^7-10^8$ 量级)非晶硅薄膜晶体管^[1](a-Si TFT)作开关元件的有源寻址技术, 以几乎 100% 占空比的寻址能力, 能明显提高与之配合的显示屏或图像传感器的质量, 近十多年来得以快速发展。非晶硅薄膜晶体管有源矩阵液晶显示(a-Si TFT AM-LCD)作为手提电脑的显示屏和未来监视器的竞争者, 已在平板显示中独占鳌头。此种有源寻址概念从 EL 发展到 LCD、VFD、OLED^[2]。有源寻址技术与非晶硅光电二极管(a-Si PIN)光敏感元件结合, 可发展出 a-Si TFT/PIN 大面积二维传感器件。与传统的 CCD 图像传感器相比, a-Si TFT/PIN 的二维传感矩阵能以近乎 100% 的光利用率传递光信息, 远远胜过 CCD 系统(CCD 仅有 10^{-4} 光传输效率), 它的“一对一(One to One)”的传感能力、高灵敏度、高灰度级和快速响应的图像质量, 能对大面积、高信息容量的图像信息进行无失真地采样、读出, 并可传输到计算机内进行数据储存、分析和按需要进行各种处理, 开创了图像传感与处理技术的新篇章。最先得以应用的是对医学中的病灶拍摄与海关实物探测^[3], 在神经网络探测器件的应用已见报道^[4]。本文将对 a-Si TFT 寻址方案的图像面阵传感器件进行若干模拟计算与试验研究, 给

2 图像传感器件结构及工作原理

图 1(a)示出 a-Si TFT/PIN 串联式耦合对的等效电路。a-Si TFT 的源极与 a-Si PIN 的 P 区连接(有的器件是与 N 区相接), 该点电压以 V_s 表示。其漏极(V_d)与外部读取电路(虚线框部分)相接。a-Si : H PIN 处于反偏。光信号照射 PIN 时, 所感生的光生电荷量将反映光照信息。由 a-Si TFT 沟道的关闭和导通来控制该信息的储存和读取。具体工作分三过程^[3-4]。第一为初始化阶段: 加正栅压打开 TFT(导通), 将上一周期残留信号泄放, V_s 电压降至最小。第二为电荷积累阶段: TFT 关闭(不导通)。入射信号($h\nu \geq E_g$)在 PIN 内产生的电子-空穴对被 PIN 内建电场分离。此时外回路呈开路, 这些光生载流子只能分别积累于 P^+ 、 N^+ 电极两侧。电荷积累的结果使内建电场降低, V_s 电压相应升高。当 a-Si PIN 象素上电荷的积累与内电场分离作用达到动态平衡时, 积累电荷趋于饱和。第三为电荷读取阶段: 重新打开 TFT。积累电荷将从漏极(V_d)由外电路读出。此阶段的偏压与时序控制, 必须选择在 PIN 象素上电荷达到饱和之前读出, 才能获得真实图像信息。图 1(b)示出耦合对工作时器件的特性曲线。其中 PD1, PD2 代表不同光照下 PIN 光电二极管的特

* 国家自然科学基金(69577011)资助项目。

1999-11-10 收到, 2000-05-08 定稿

©2001 中国电子学会

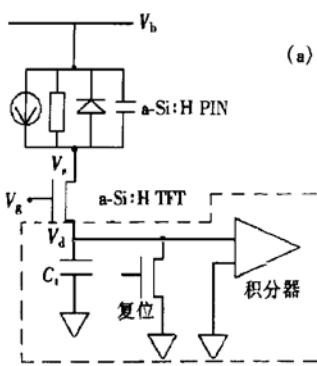


图 1(a) a-Si TFT/PIN 耦合对等效电路
FIG. 1(a) Equivalent Circuit of a-Si TFT/PIN Coupled Unit

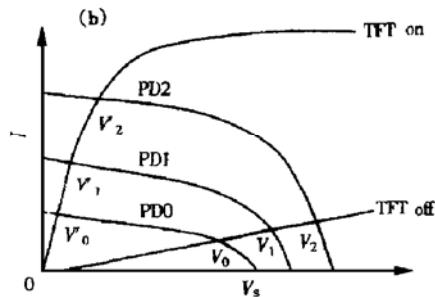


图 1(b) 耦合对工作特性曲线
FIG. 1(b) I-V Curve of Coupled Unit

性曲线, PDO 为其暗态特性曲线. TFT_{on} 和 TFT_{off} 分别代表薄膜晶体管开态和关态下的输出特性曲线(为方便起见, 此处对关态曲线进行了适当放大, 以便清晰看到两组曲线的交点). 因 TFT 与 PIN 串联, 两组曲线相交点即为 a-Si TFT/PIN 耦合对的工作点. 不同光强的图像信号照射到 a-Si PIN 像素上时, 随 TFT 开关作用的启动, 源电压 V_s 将工作在 V'₁ 和 V'₂ 之间, V'₁ 和 V'₂ 分别代表 TFT 处于开、关态下与光电二极管特性曲线族的交点, 两者之差 ($\Delta V_{1,2}$) 等效于光感生电荷的多少, 它与 PIN 像素电容 C_p 的积 ($C_p \Delta V_{1,2}$) 即为写入像素上的电荷. 读出电路的示意图如图 1(a) 中虚线框所示. 读取信号时, TFT 导通, 像素电容上储存的光感生电荷由漏极流出, 输至外电路的储存电容 C_t 上, 经积分器积分, A/D 转换再送至外围计算机, 进行所需要的分析和处理. 二维图像传感模块由栅驱动电路、a-Si TFT/PIN 面阵基板及列读取电路三部分组成. 照射到二维面阵上的光信号, 在面阵上产生全屏图像.

打开栅线, 通过列读取电路同时读出整条栅线上各列的图像信息并输至计算机予以储存. 各条栅线逐行扫描直至全屏信号取完再进行下一屏的信号读取. 为获得好的图像质量, 快速读取是非常必要的.

3 a-Si TFT/PIN 耦合对性质对图像影响的模拟分析^[4-12]

3.1 a-Si TFT/PIN 耦合对特性的计算模型

根据上述 a-Si : H TFT/PIN 耦合对工作原理, 针对具体应用中探测信号的光谱范围与光强特性, 我们首先建立 a-Si : H TFT 和 a-Si : H PIN 单个器件的计算机模型, 得出单个器件的 I-V 特性, 然后依据 a-Si : H TFT/PIN 耦合对如图 1(a) 所示的等效电路, 获得耦合对稳态直流工作点. 利用 Origin 软件对读取稳态直流工作点数值绘制成曲线. 所以此处 a-Si : H TFT/PIN 耦合对的计算机模型为等效电路模型与器件物理模型的综合. 鉴于本文模拟计算的重点放在两者耦合问题上, 对单个器件的模型则以借助现有成熟的物理模型为主.

3.1.1 a-Si : H PIN 光电探测器计算机模型^[5-7]

我们以较有代表意义的 Hack 和 Shur 的 a-Si : H PIN 太阳电池计算模型为基础^[5], 依据神经网络或其他应用中实际条件, 进行 a-Si : H PIN 光电二极管的数值计算.

具体模型的基础依然是从泊松方程和电流连续性方程出发. 设 PIN 结的方向为 x 轴:

$$-\frac{1}{q} \times \frac{dj}{dx} = G(x) - R(x) \quad (1)$$

$$\frac{d\xi}{dx} = \frac{\rho(x)}{\epsilon} \quad (2)$$

$$j_n = q\mu_n \left[n\xi + \frac{kT}{q} \times \frac{dn}{dx} \right] \quad (3)$$

$$\rho(x) = q(p(x) - n(x)) + q(p_i(x) - n_i(x)) \quad (4)$$

$$R(x) = (pn - n_i^2) Cv_{th} \sigma_n \left[\frac{1}{n + Cp} \int_{E_{\Delta p}}^{E_{\Delta n}} g_A(E) dE + \frac{1}{nC + p} \int_{E_{\Delta p}}^{E_{\Delta n}} g_D(E) dE \right] \quad (5)$$

其中 G(x) 是光产生率; R(x) 为复合率; ξ 是电场强度; q 是电子电荷; $\rho(x)$ 为空间电荷密度. 为简单计, 此处仅给出电子的电流密度 J_n、迁移率 μ_n 和浓度 n 的关系, 省略空穴部分. T 是特征温度, ϵ 为 a-Si : H 介电常数; $n_i(x)$ 、 $p_i(x)$ 分别是被隙态所陷获的

电子及空穴浓度; n_i 是本征载流子浓度; C 为 σ_c, σ_n 之比(σ_c, σ_n 分别为带电和中性缺陷态俘获截面). 空间电荷密度 $\rho(x)$ 与指数式隙态密度 $g(E)$ 的分布有明显关系^[5], 而复合率 $R(x)$, 因 a-Si 材料中大量缺陷态的存在, 用文献[5]变化过的 Shockley-Read 的复合模型按式(5)进行计算.

对于光产生率 $G(x)$, 因应用而异。如在神经网络应用中 a-Si PIN 光电二极管探测的是单一波长的弱光信号, 我们所用的 $G(x)$ 有别于太阳电池整个光谱分布范围内的表达形式^[6].

文献[7]曾采用 Scharfetter & Gummel 数值分析法对方程(1)—(5)求解 a-Si : H PIN 太阳电池的计算模拟, 获得很好效果. 我们针对神经网络应用中的要求, 对其中的光产生率部分按本研究需要做了修改, 相应调整了步长, 改变迭代初始值, 使其能对截面积为 1mm^2 、工作于反偏下的 a-Si : H PIN 光电二极管进行 $I-V$ 特性分析^[6].

3.1.2 a-Si : H TFT 的计算机模型^[6, 8-12]

计算 TFT 的转移或输出 $I-V$ 曲线, 主要是计算沟道内感生电荷随栅压或源漏电压的变化情况. 我们选用 Shur 和 Hack 较新较成熟的 a-Si : H TFT 的计算机模型^[8]. 与其它模型相比^[9, 10], 它更直观地将亚阈值区域与高阈值区域的自由电子浓度用统一的表达式表示, 使所得结果比较平滑.

(1) 亚阈值区

在亚阈值区域, 所加栅压低于阈值电压. a-Si : H 一般被看成弱 n 型材料. 随栅压增高, 靠近栅绝缘层 a-Si : H 一侧的能带向下弯曲, 相对而言, 表面费米能级向导带移动. 随费米能级扫过按指数分布的能隙缺陷态, 所感生的电荷将在这些态内和导带内进行分配. 由电荷填充情况并解泊松方程, 可得表面电场强度 V_s 和相应界面处自由电子浓度 N_s :

$$N_s = N_c \exp\left(\frac{V_s}{V_{th}}\right) \exp\left(-\frac{dE_{F0}}{qV_{th}}\right) \quad (6)$$

$$V_s \approx V_{AT} \ln\left(\frac{\epsilon_i^2 V_{gFBe}^2}{2q\epsilon_s d_i^2 g_{minT} V_{AT}^2}\right) \quad (7)$$

式中 V_{AT} 是导带尾态的特征能; V_{th} 为热化能($k_b T / q$); V_{gFBe} 为平带电压; E_{F0} 为暗态下费米能级. 在整个 a-Si : H 有源层厚度范围内对上式积分, 即可得到亚阈值区被感生的自由电子电荷浓度:

$$n_{sb} = n_{so} \left[\left(\frac{t_m}{d_i} \right) \left(\frac{V_{gFBe}}{V_{AT}} \right) \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_s} \right) \right]^{\frac{2V_{AT}}{V_g}} \quad (8)$$

其中 n_{so} 称为特征电荷密度; t_m 为电荷沟道厚度;

ϵ_i, ϵ_s 分别为栅介质和 a-Si : H 介电常数; V_g 为栅压. 由指数分布隙态分布特性可知, 禁带中央的缺陷态密度最低(g_{minT}). 导带内感生电子数目随栅压增长起始较快. 但缺陷态密度随费米能级逐渐接近导带而迅速增大, 分配于导带内的电子增长速度将减慢, 所以转移特性曲线的上升速率(亚阈斜率), 描述了隙态密度的大小.

(2) 高阈值区

当栅压增加到使费米能级进入导带带尾时, 因为带尾态密度很大, 诱导于 a-Si : H 内的电荷将大部分被俘获在带尾态内, 只有少部分进入导带. 导带内感生电荷密度与栅压成正比, 称为线性区. 这里我们引入一个指数 $\gamma^{[9, 11, 12]}$, 它表示诱导入导带的电荷与总的诱导电荷的比率. 于是诱导入沟道导带内的自由电子浓度 n_{sa} 可简化表示为:

$$n_{sa} = C_g \left[\frac{V_g - V_t}{q} \right] \left[\frac{V_g - V_t - \alpha V_{dse}}{V_{AA}} \right]^\gamma \quad (9)$$

式中 C_g 是单位面积上的栅介质电容; V_{dse} 是有效源漏电压; V_{AA} 为特征电压; α 为沟道耗尽因子, αV_{dse} 反映由于沟道耗尽而在导带里被缩减的电子数量.

$$V_{dse} = \frac{V_{ds}}{1 + \left(\frac{V_{ds}}{V_{sat}} \right)^{M_{sat}}} \quad V_{sat} = \alpha_{sat} V_{gte} \quad (10)$$

$$V_{gte} = \frac{V_{min}}{2} \left[1 + \frac{V_{gt}}{V_{min}} + \left[\delta^2 + \left(\frac{V_{gt}}{V_{min}} - 1 \right)^2 \right]^{1/2} \right] \quad (11)$$

$$V_{gt} = V_g - V_t$$

式中 V_{sat} 为饱和电压; M_{sat} 参数使 $V_{gs} < V_{sat}$ 和 $V_{gs} > V_{sat}$ 两区域的过渡更为平滑; α_{sat} 是一个填充因子; δ 为过渡参数. 以上参数在文献[8]中已经给出, 可以先借用予以调试计算结构.

(3) 统一表达式

将亚阈值和高阈值两区域的诱导的自由电子浓度合成, 总的诱导自由电子浓度写为:

$$n_s = \frac{n_{sa} n_{sb}}{n_{sa} + n_{sb}} \quad (12)$$

本征沟道电导 $g_{chi} = qn_s \mu_n \frac{W}{L}$, μ_n 为电子迁移率, 引入源漏串联电阻影响, $g_{ch} = \frac{g_{chi}}{1 + g_{chi}(R_s + R_d)}$, 其中 W/L 是沟道宽长比. 最后, a-Si : H TFT 的 $I-V$ 特性表达式由下式表示, λ 为沟道长度调变因子:

$$I_{ds} = g_{ch} V_{dse} (1 + \lambda V_{ds}) \quad (13)$$

采用数学软件 MathCAD 具体进行 $I-V$ 计算.

用 Origin 画图. 所需材料与器件参数参见文献[7].

3.2 耦合对性质对图像影响的模拟分析^[12]

3.2.1 对比度

对比度是指显示图像上最亮与最暗之比, 是描述一个图像具有不同层次, 能使图像有清晰、明快感的基本参数. 它要求探测信息的 a-Si TFT/PIN 耦合对的开态电阻尽量小, 使二极管上储存的光生电荷能充分地由漏极导出, 不致因开关特性不好使光信号有任何损失. 同时要求关态电流小, 不至把关态下的漏电电流也当作“光”信号参与输出而降低对比度. 为此, 要求提高 TFT 的陡度及耦合对的开态光电流、降低漏电电流. 由图 1(b) 可见, 它要求 V' 与 V 之差尽量大, 两种器件的漏电流应尽量小. 由对耦合对进行计算机模拟分析表明:

(1) TFT 有源层隙态密度的影响

TFT 亚域斜率由 TFT 有源层的隙态密度决定, 即减少隙态对栅感生电荷的陷获作用. 图 2(a) 给出 TFT 有源层材料隙态密度对开关陡度影响的情况. 图中 g 是描述隙态密度量值的符号. g 值愈小, TFT 的转移特性曲线愈陡, 将有利于对比度的提高.

(2) 耦合对开态电流的作用

在 TFT 沟道完全打开后, 因 a-Si PIN 是 TFT 的负载, 当它的光电流比 TFT 本身的 I_{on} 还小时就将限定总的开态电流. 增加光照强度, 增大 PIN 的光电流, 就使光电流对 TFT 的 I_{on} 限制作用减小, 耦合对的开态电流(I_{on})则相应增加. 图 2(b) 的模拟计算结果证明, 高光强照射 PIN 时, 耦合对开态电流随光照强度的增强而增大. 此结果说明光敏元件的光电灵敏度是决定图像探测质量的重要关键.

我们在提高 a-Si PIN 的光电灵敏性方面, 尤其低光强下的光敏性进行了大量研究. 图 3(a)、(b) 分别示出 a-Si PIN 光生电流随白炽灯和 LED(光谱峰

569.7nm) 光强变化的响应曲线. 因白炽灯在低光强下, 光谱偏红乃至红外, 故光强响应率(9.44 nA/lx) 较低. 而 LED 的发光光谱与 a-Si PIN 光谱响应很接近, 故光电流对光强的响应率(18.1 nA/lx) 则大得多. 这对单色图像探测是很有利的^[3].

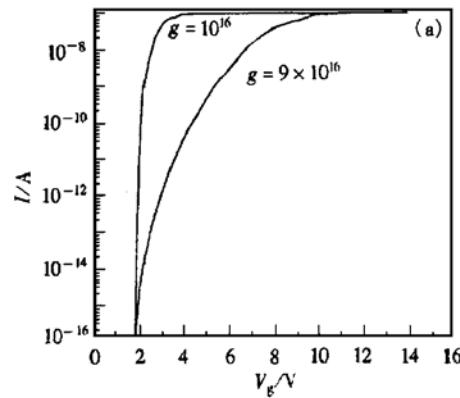


图 2(a) 有源层隙态密度对转移特性陡度影响
FIG. 2(a) Influence of Density of Gap States on Transfer-Characteristics of a-Si TFT

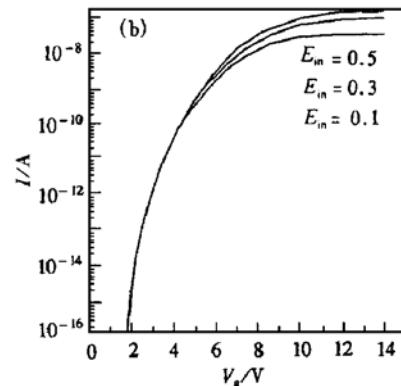


图 2(b) 不同光强下转移特性模拟曲线比较
FIG. 2(b) Simulated Transfer Curves of TFT/PIN at Different Illuminant Intensity

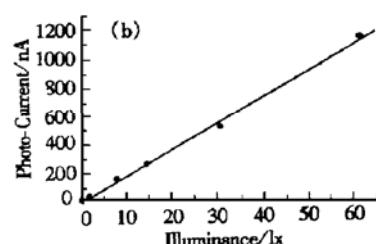
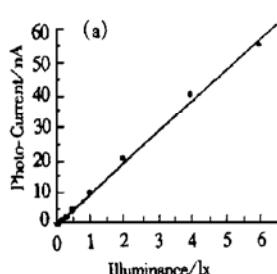


图 3 不同光源照射下 a-Si PIN 光电流对弱光照射下的响应曲线 (a) 白炽灯为光源, (b) LED 为光源.

FIG. 3 Practical I_p Versus Illuminant Intensity of a-Si PIN (a) Incandescent Lamp as Source, (b) LED as Source

(3) 减小交叉串扰

交叉串扰是影响对比度的另一个重要因数,也是使分辨率降低的主要原因。交叉效应主要由 TFT 的关闭能力及 PIN 自身横向电阻大小决定。降低 TFT 关态电流并使 PIN 与 PIN 之间进行有效隔离是非常重要的。我们采用 n^+ 非晶硅做 N 型层并适当刻蚀的方法减少横向串扰。

3.2.2 读出能力

读出能力反映器件对光图象信号的读出正确性。除上述光电响应外,能将光电信号充分取出来,这对提高信号读出能力是很重要的。它取决于耦合对输出电流能力、TFT 的打开状态与动态范围等参数。

(1) 耦合对输出电流受 TFT 开态状态的限制

鉴于 TFT 与 PIN 光电二极管串联,TFT 的开态电阻相当于光电二极管的串联电阻。这会使光电二极管的串联电阻增大、填充因子降低,工作电流亦相应减小。隙态密度不仅决定 TFT 的转移特性同时亦将影响输出特性。图 4 示出不同隙态密度对耦合对输出能力的影响。因为材料内缺陷态密度的降低,将会减少载流子复合中心,相应提高内建电场进而提高收集效率与提高光生电流。图中态密度用符号 g 表示。 g 减少一个量级会使输出电流提高近半个量级。为降低材料的隙态密度,必须重视优化工艺及提高材料纯度。

(2) 选择合适的工作点

对 TFT 的栅压必须选择适当,以便充分开启 TFT 沟道,使储存在 PIN 上的光生电荷能全部通过漏极传输出去,避免信号失真。图 4(b) 示出耦合对在不同栅压下的输出特性模拟曲线(此处将二极管漏电电流放大了)。如图所示,当栅压较低($V_g = 8V$)时,沟道尚未全部打开,输出由二极管的漏电流决定。尚若栅压适当加高,就可有效打开沟道使输出电流得以明显增大。随栅压增大,沟道进一步开启,低漏电压下的输出电流得以增高。另外 a-Si PIN 上的公共反向偏置 V_b 的选择亦是很重要的。除应考虑电荷的收集过程之外,还需考虑光电二极管承受反向偏置的能力。反向偏压能加大内建场,有利于光电流的全部导出,有效提高输出电流和读出的动态范围(读出信号大小与入射光强的线性度范围)。但受光电二极管反向耐压的限制(我们电池的击穿电压可达上 10 伏),过高的反偏压易及早击穿而使漏电电流加大,信噪比减小,影响对比度。

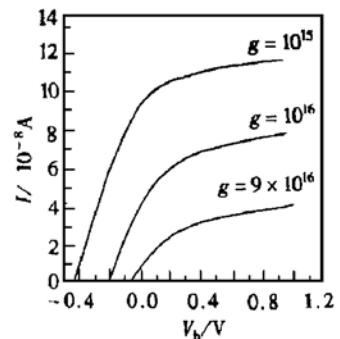


图 4(a) 不同隙态密度耦合对的输出曲线比较($V_g = 15V$)

FIG. 4(a) Comparison Between Output Characteristic Curves of TFT/PIN Coupling Pair with Different Density of Gap States ($V_g = 15V$)

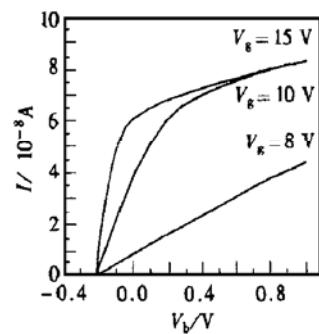


图 4(b) 不同栅偏压下耦合对的输出特性曲线

FIG. 4(b) Output Curves of TFT/PIN Coupling Pair at Different Gate Voltage (V_g)

4 工艺研究

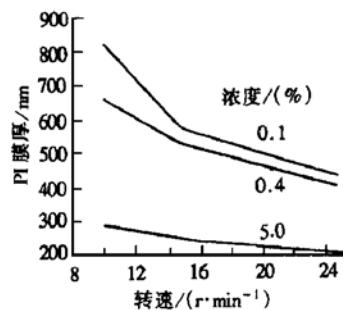
由上述分析可知,为满足所需求,必须在提高 TFT 的开关比、光电二极管的光电灵敏度并使 TFT 与 PIN 有效隔离方面,进行仔细研究才能获得所需器件的性能参数。所研究矩阵的像素数,以神经网络目前发展状况,选为 32×32 。TFT 沟道的宽长比,按低光功率探测工作电流在微安范围及我所研制水平考虑,我们用 $W/L = 100\mu\text{m}/10\mu\text{m}$, a-Si PIN 像素面积为 1mm^2 。

4.1 低温固化聚酰亚胺互连-隔离层

由于 a-Si PIN 的偏置电极是公共的,为避免矩阵短路、减少像素串扰,需要对像素进行隔离。我们采用聚酰亚胺(Polyimide-PI)作 TFT/PIN 之间的互连-隔离材料。在作完 TFT 矩阵后旋转涂覆 PI,在像素电极上开孔,生长 a-Si PIN。PI 对其余 TFT

部分起隔离保护作用。对 PI 的要求关键是开孔质量良好。常规用于光刻的 PI 固化温度较高(240℃以上)。但为避免对已制备 a-Si TFT 特性的影响, PI 固化温度不得大于 180℃。为此我们用 TFT 液晶显示的 PI 取向剂(型号为 PI-5J, 由上海交大提供)进行低温固化和图形制备匹配研究。其实质是低温固化条件下图形显影效果良好的问题。

(1) 固化条件: 对单晶硅上的 PI-5J 以不同温度



进行胺化, 由红外谱分析发现, 180℃下胺化可得与240℃下胺化相同的 1780cm^{-1} 波数特征谱和 1725cm^{-1} 与 1500cm^{-1} 处的强吸收谱^[6]。180℃固化良好可用。

(2) 实验发现, 溶液浓度及均匀性对显影质量至关重要。依图 5 数据选 PI 与二甲基乙酰胺之比为 8.1%, 溶液经充分搅拌, 转速选 1500r/min, 可得膜厚 570nm 左右的均匀 PI 膜, 显影效果很好。

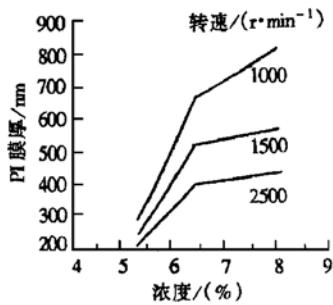


图 5 控制 PI 膜厚均匀工艺实验 (a) 甩胶速度的影响; (b) PI 浓度的影响

FIG. 5 Thickness of PI Film Controlled by Spin-Velocity and Concentration of PI Solution (a) Thickness Versus Spin Velocity, (b) Thickness Versus Concentration of PI Solution

4.2 提高 TFT 器件特性的若干研究

(1) 通过对栅绝缘层与有源层间界面的 H 处理, 钝化弱键, 明显减低了界面复合, 使迁移率提高了 1.5 倍^[13]。该方法原用于改善 a-Si PIN 太阳电池的 p/i 界面, 我们除用以提高 a-Si PIN 光电二极管的光敏特性外, 还推广应用到 TFT 中, 以改善其有源层界面, 提高 On 态电流。

(2) 通过对 TFT 动态特性分析, 确立了工作状态下 TFT 的关态栅偏压 V_{gL} 对 I_{off} 的调制作用。选用尽可能负的 V_{gL} 可使工作状态下的漏电流降低一个量级以上, 可改善图像传感质量, 减小信号串扰。尤其是对 OE 信号的新设计, 既可改善图像质量又简化电路, 具有创新意义^[14]。

(3) 采用 Al : Ti 合金做栅电极材料及 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}$ 双栅绝缘层结构, 明显提高 TFT 的稳定性。实验发现, Al : Ti 合金除能减小栅延迟外, 另一个重要作用是当引用 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}$ 双栅绝缘层冗余结构后, 因 Al_2O_3 和 SiN 内分别含有不同荷电符号的陷阱的互补作用, 能有效提高 TFT 的稳定性和完好率^[15]。

(4) 已知, TFT 源、漏处的接触特性将明显影响 TFT 的 On 态电流。我们发现: 室温下在 a-Si 上溅

射制备钼(Mo)金属膜时, Mo 膜将与 a-Si 发生互作用^[16], 使其电导激活能 E_σ 降为 65meV, 电导率 $\sigma \sim 10(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$, 优于 n⁺ 非晶硅两个量级; 可与微晶硅相比拟(E_σ 约 35meV, $\sigma \sim 18(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$), 很适宜作一种新型内联导电薄膜材料。当采用 Mo : Si 合金做源漏接触内联材料后, 可提高开态电流、抑制关态电流, 改善开关电流比。开关比(I_{on}/I_{off})可达 10⁸, 迁移率达 $0.87\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ^[16]。图 6 示出本研究所研

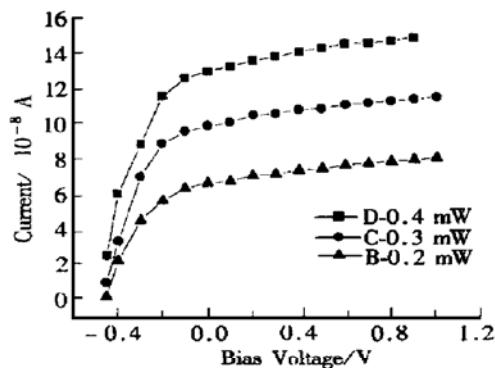


图 6 用绿色 LED 作光源实测耦合对输出特性曲线

FIG. 6 Output Curves of Practical TFT/PIN Illuminated by Several Intensity of LED

制出的 a-Si TFT/PIN 耦合对的输出特性曲线族。以绿色发光二极管(LED)作光源(光谱在 537nm)、

入射光强 E_{in} (单位: mW)为参变量、栅压固定在10V的情况下测量的。入射能量为0.4mW时,开路电压可达500mV以上,输出电流 $\sim 15\mu A/cm^2$ (a-Si PIN的像素面积 $1mm^2$)。这是串接有TFT之后的a-Si PIN参数,至少说明TFT开启特性对光电管的光伏特性的影响较小。其线性度也较佳。所得结果是颇令人满意的。

5 结语

a-Si TFT/PIN耦合对及其矩阵,作为有源寻址的图像探测面阵,该结构具有可大面积、高分辨、快速响应等特点,在医学成像、海关监测、神经网络循环迭代光电探测等信息处理方面将得以广泛应用。本文通过对a-Si TFT/PIN有源探测器件及其面阵特性的计算机模拟与实验研究,获结果如下:

(1) 建立了a-Si TFT/PIN耦合对特性曲线模拟计算的模型与方法,对实验器件设计和工艺指导有实际意义。

(2) 针对a-Si材料的隙态密度是决定耦合对特性的关键因素,采用H等离子处理a-Si与SiN_x的界面等多项研究,有效降低材料的隙态密度,提高耦合对的输出能力及a-Si PIN光电二极管的光电响应灵敏度(a-Si PIN在绿光、低照度下的光电转换率可达 $18.1nA/lx$),提高图像探测质量。

(3) 采用Al:Ti合金做栅电极材料^[15]及利用自生成MO:Si合金效应不仅有冗余效果,能提高TFT的稳定性,还能改善On态电流、有利于成像

质量的提高。

(4) 实际研究结果显示:理论模拟与实验结果是一致的,反应计算模型的正确性。研制的耦合对,其输出特性、光敏性以及各单独器件的多项特性,均令人满意。

参考文献

- [1] XIONG Shao-zhen, MENG Zhi-guo *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1994, **15**(2): 130.
- [2] T. Peter Brody, J. Inf. Display, 1997, **13**, (10): 28—32.
- [3] R. A. Street *et al.*, MRS Symp. Proc., 1990, **192**: 441—452; R. L. Weisfeld *et al.*, SPIE, 1997, **3032**: 14—21.
- [4] ZHAO Ying, LI Jing, LI Jun-feng and XIONG Shao-zhen, SPIE, 1998, **3545**: 218—222.
- [5] M. Hack and M. Shur, J. Appl. Phys., 1985, **58**(2): 997.
- [6] LI Jing, Master Thesis, 1998, 11.
- [7] WU Chun-ya, Master Thesis, 1994, 6.
- [8] M. Shur and M. Hack, J. SID, 1995, **3**(4): 230.
- [9] M. Shur and M. Hack, J. Appl. Phys., 1989, **66**(7): 3371.
- [10] T. Leroux, Solids-State Electronics, 1986, **29**(1): 47.
- [11] Lee *et al.*, Semiconductor Device Modeling for VLSI, 305.
- [12] ZHAO Ying, LI Jing and XIONG Shao-zhen, Digest of Optics for Information Infrastructure, JOEL, 1998, **9** (Supp.): 226—228.
- [13] ZHAO Ying, XIONG Shao-zhen *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1997, **18**(1): 58—60.
- [14] J. Wang, S. Xiong, Y. Zhao *et al.*, AM-LCD'96/IDW'96, 1996: 261—264.
- [15] XIONG Shao-zhen, ZHAO Ying *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1997, **18**(10): 771—775.
- [16] S. Xiong, Z. Meng, Y. Zhao *et al.*, Asia Display'98, 1998, 365—368.

a-Si TFT/PIN Coupled-Pair Sensors^{*}

ZHAO Ying, XIONG Shao-zhen, LI Jing, ZHOU Zhen-hua and LI Jun-feng

(Institute of Photoelectronics, Nankai University, Key Laboratory of Opto-Electronic Information Technical Science, MEC, Tianjin 300071, China)

Abstract: The effect of a-Si TFT and a-Si PIN diode performance on a-Si TFT/PIN coupled pairs of active addressing image sensors array has been studied by simulation and experiment. High switch ratio a-Si TFT and high photosensitivity of a-Si PIN diodes have been obtained. The photo-converted ratio of a-Si PIN is about 18.1 nA/lx. The good linear relationship between the photo-current and the illuminated intensity has been obtained in the a-Si TFT/PIN image sensors.

Key words: active addressing; a-Si TFT; a-Si PIN diode; image sensors array

EEACC: 7230

Article ID: 0253-4177(2001)01-0083-08

* Project Supported by National Natural Science Foundation of China Under Grant No. 69577011.

Received 10 November 1999, revised manuscript received 8 May 2000

© 2001 The Chinese Institute of Electronics