

文章编号:1007-2780(2009)04-0471-07

LCOS 微显示技术

代永平

(南开大学 光电子薄膜器件与技术研究所;天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室;
光电信息技术科学教育部重点实验室(南开大学),天津 300071,E-mail:daiyp@nankai.edu.cn)

摘 要: 硅上液晶(LCOS)显示技术是一种反射式液晶显示技术,其周边驱动器和有源像素矩阵使用 CMOS 技术制作在单晶硅上,并以该晶片为基底封装液晶盒,因而拥有了小尺寸和高显示分辨率的双重特性。文章介绍了 LCOS 显示器的原理、制造技术和应用领域,对其发展前景进行了展望。

关 键 词: LCOS 屏;反射式;微投影;光机
中图分类号: O753.2;TN27 **文献标识码:** A

1 引 言

20 世纪 90 年代初,a-Si TFT-LCD 产业开始形成规模,并逐渐在平板显示市场占据了统治地位。但 a-Si TFT 由于载流子迁移率低,不适合与周边电路集成一体化,在小尺寸、低功耗、高分辨率显示方面受到制约。当该项技术由 a-Si 玻璃基板转移到单晶硅片上以后,发展成为硅上液晶(Liquid Crystal on Silicon,LCOS)显示技术。

LCOS 是 LCD 与 CMOS 集成电路有机结合的反射型显示技术。利用 LCOS 技术开发的显示屏,其显示芯片对角线尺寸通常不超过 25.4 mm(1 in),像素尺寸在 10 μm 量级,因此,LCOS 显示屏都需要配备放大图像的光学系统,用来制造各种近眼显示器和投影系统。LCOS 可利用常规的 CMOS 技术批量生产,技术成熟,其优点是功耗低、分辨率高、器件尺寸小,在个人便携显示应用方面有很大优势,特别是其功耗远低于许多有源矩阵液晶显示器,而生产成本可与阴极射线管相比拟^[1-3],有望成为大屏幕高分辨率低成本投影显示技术的新主流。

2 LCOS 产品应用

2.1 应用产品分类

从 Aurora Systems 公司于 2000 年开始推出首批 LCOS 技术成型产品算起,经过近 10 年的

发展,LCOS 技术现在已经进入了一个相对成熟时期,市场上可见的显示产品分为 3 类:

(1) 高清大屏幕投影机

主要面向 1.5 m(60 in)以上的投影产品市场,现已开发出应用于大型数字高清影院的超高分辨率(3 840 $\times$ 2 048)LCOS 显示芯片,并成为高端影院投影机产品采用的主要技术。LCOS 核心芯片及系统产品主要由佳能、索尼、JVC、先锋、LG 等数家企业制造,LCOS 大屏幕投影机原理如图 1 所示。

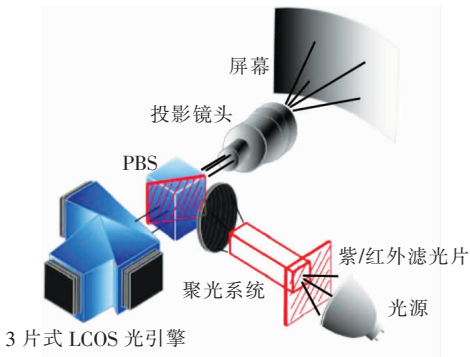


图 1 LCOS 大屏幕投影机原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of LCOS large screen projector

(2) 便携式微型投影机

从最初的超便携式投影机到最近的口袋式投影机,便携式微型投影机的终极目标是使投影模块可以集成到手持移动设备中,如手机、多媒体播

放器、数码相机和数码摄像机等。相关微投影用 LCOS 核心芯片及系统产品主要由台湾奇美电子、Displaytech、3M、Coppin 等数家企业制造,图 2 展示了可以藏于指间的微型投影机。



图 2 微型投影机模块
Fig. 2 Module of micro-projector

LCOS 核心芯片及系统产品主要由台湾奇美电子、Displaytech、3M、Coppin 等数家企业制造。图 3 展示的是深圳力伟数码公司出品的 LCOS 眼镜式显示器。



图 3 近眼微型显示器
Fig. 3 Near-to-eye microdisplay

(3)近眼显示器

近眼显示器亦称为头戴显示器(HMD),以眼镜形式佩戴或安置在头盔和面罩上面,接近使用者的眼睛,提供大于显示器物理尺寸的虚像。显示器的物理尺寸一般只有 25.4 mm(1 in),放置在眼前,通过光学组件可以成像到 3 m(120 in)以上,且在放大图像的同时可以保证图像具有足够的清晰度及不产生像差。近眼显示器不仅具有较大的可视区域,而且成本低、功耗小,在利用相同电池的条件下工作时间也较长。相关近眼显示用

2.2 LCOS 显示系统结构特征

以 LCOS 显示器为核心构成的显示系统,无论是大屏幕投影显示系统,还是近眼虚拟微型显示器,其系统结构都可划分为 4 个部分:LCOS 屏(包括 LCOS 显示芯片)、显示控制器、光学系统和光源^[4]。后 3 个部分为 LCOS 屏的伺服结构,其中显示控制器把需要显示的数字式或模拟式信号转换成与 LCOS 芯片显示模式相匹配的数字信号;光源根据具体彩色方式,提供全色光或红绿蓝三色时序脉冲光;光学系统则产生相应的实像或虚像。

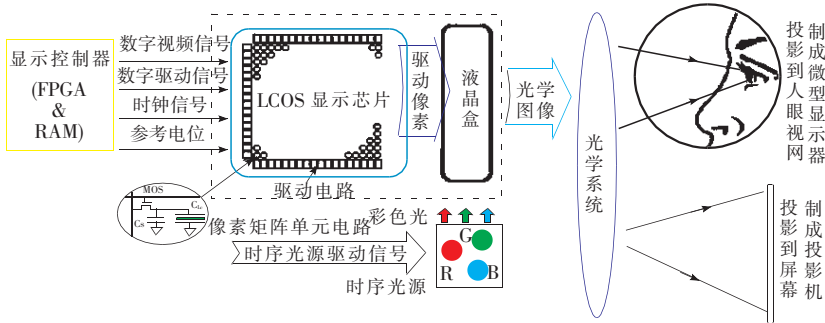


图 4 LCOS 成像系统结构示意图
Fig. 4 Schematic of LCOS imaging system

3 LCOS 屏的制造技术

LCOS 屏是半导体大规模集成电路技术和液晶显示技术相结合的高新技术产品,可采用成熟的 CMOS 制造工艺和液晶屏制造工艺进行生产,

无需额外增加投资生产线。LCOS 硅基晶圆的制备与集成电路的制造工艺几乎完全相同,并可随着现有集成电路工艺的精细化发展而同步提高其分辨率;而液晶屏制造则仅需清洗、取向、成盒、灌注及模块化等几个工序即可。

3.1 LCOS 硅基晶圆制备

这个阶段属于 CMOS 集成电路制备过程,即把各种视频信号处理电路,包括扫描驱动、时钟电路、存储器等周边驱动电路和寻址开关矩阵制造在同一块硅芯片上。但 LCOS 芯片仍有别于普通集成电路芯片,实际上需要具备良好的光学特性,故在工艺后期增加了特别的 CMP 整平工艺和顶层金属镜面化等工艺,并且减少了传统 IC 制备需要进行的钝化层生长与刻蚀等工艺^[5-7]。

3.2 ITO 导电玻璃的制备

通常采用 0.7 mm 或 1.1 mm 厚度的浮法玻璃基板,采用溅射工艺在玻璃基板上沉积一层 ITO 透明导电薄膜,导电玻璃的方块电阻随 ITO 薄膜厚度的增加而减小,但光透过率也随薄膜厚度的增加而下降。

3.3 LCOS 封盒工序

LCOS 封盒工艺主要分为前后两部分:晶圆级制盒工艺段和芯片级制屏工艺段,其主要工艺流程如图 5 所示。

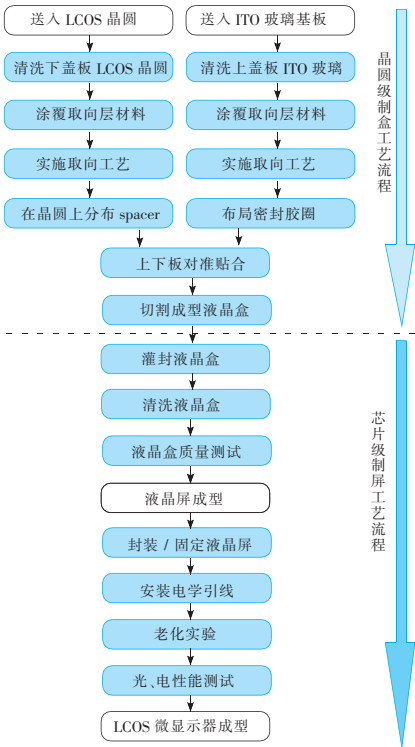


图 5 LCOS 屏制盒工艺流程图示意
Fig. 5 Flow chart for LCOS-cell process

在制盒工艺阶段,LCOS 硅基晶圆和 ITO 玻璃基板首先都要经过清洗、涂覆液晶取向剂及实

施取向等工艺;接下来密封胶圈既可以布局在 LCOS 硅基晶圆上,也可以涂覆在 ITO 玻璃基板上;然后使用专制的贴合压力机按照对准标志将 ITO 玻璃基板与 LCOS 硅基晶圆粘合,接着利用真空设备向液晶盒内灌注液晶材料,最后封堵灌注口。

3.4 显示屏集成技术

LCOS 显示屏的封装主要有以下几步工艺流程:首先固置 LCOS 液晶屏,然后完成与 ITO 公共电极、LCOS 芯片上焊盘电极的电学连接,最后嵌套保护框架等机械组件。图 6 是所研制的 LCOS 微型显示器的结构示意图,图 7 是相关的实物照片^[4]。

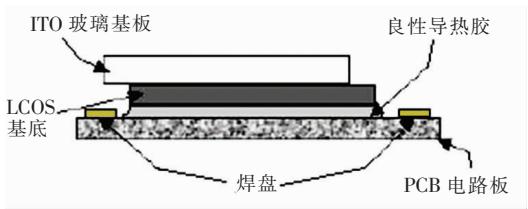


图 6 LCOS 微型显示器结构示意图
Fig. 6 Structure of LCOS microdisplay

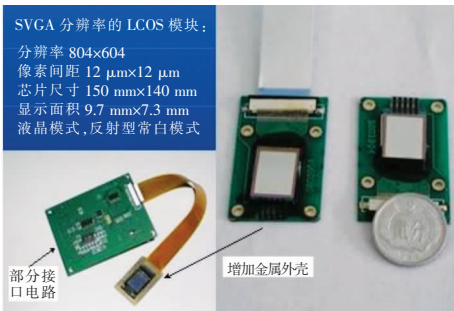


图 7 LCOS 微型显示器照片
Fig. 7 Photograph of LCOS microdisplay

4 LCOS 显示芯片技术

4.1 视频信号接收模式

通常 LCOS 显示芯片的类别按照输入的視頻信号模式不同区分为两类:模拟式芯片和数字式芯片。图 8 示意了一款笔者研制的数字式 LCOS 芯片的电路结构功能图^[8],芯片电路可划分为行扫描驱动器、列数据驱动器和显示像素矩阵(有源 NMOS 矩阵)。为了降低芯片工作频率,不仅把列数据驱动器分为电学结构完全一致的上下两组,分别驱动奇偶数据线,而且采用多组数据

输入方式。另外,这种电路结构可以使芯片面积最小^[4]。

4.2 像素矩阵单元结构

组成 LCOS 显示像素矩阵的基本单元电路主要有 DRAM 和 SRAM 两种结构。如图 9 所示的 DRAM 像素单元电路中设置了存储电容,因此可以直接接受列数据线送来的模拟视频信号,使得每种基色能产生 6~8 位的灰度等级,这样便显示出非常好的色饱和度。

在如图 10 所示的 SRAM 结构中每个像元有由多个晶体管组成的静态锁存器,这样可以把数据存储在像元的位置,通过用数字信号控制显示,

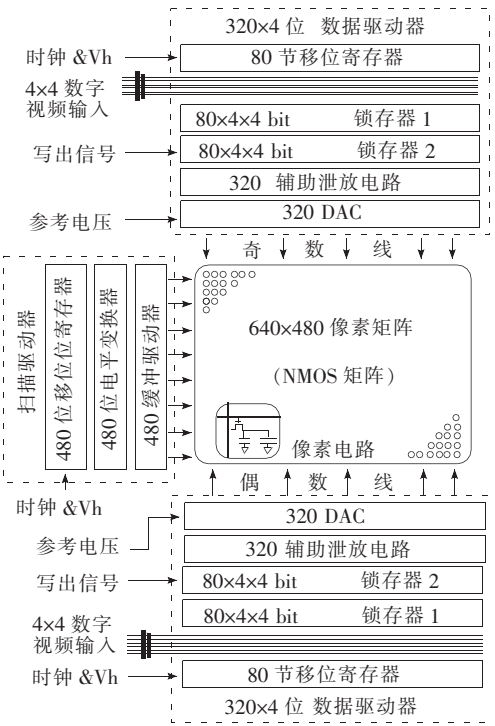


图 8 数字式 LCOS 芯片电路结构

Fig. 8 Circuit structure of the digital LCOS chip

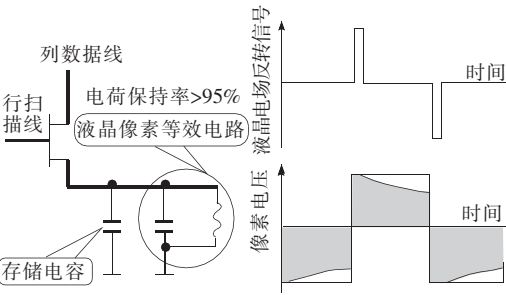


图 9 LCOS 芯片的 DRAM 像素及工作原理

Fig. 9 DRAM pixel for LCOS chip and operation principle

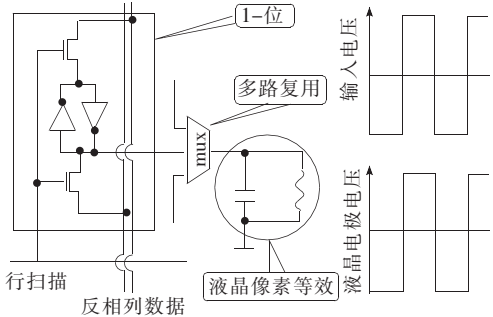


图 10 LCOS 芯片的 SRAM 像素及工作原理

Fig. 10 SRAM pixel for LCOS chip and operation principle

每个像数或是反射光线或是不反射光线,也称双态式,即像素仅工作在开态或关态,无灰度变化(类似 STN 中的帧频控制法则),灰度显示通过时分技术(TDM)获得。

4.3 芯片设计技术

LCOS 芯片是一块复杂的数模混合电路芯片,这类电路的复杂性不仅要求同一条生产线能同时兼容数字和模拟 IC 的生产工艺^[8],更重要的是针对市场需要如何准确、快速地设计出 LCOS 显示芯片。对于前者有一定规模的现代半导体加工工厂都能相对容易地实现,而后者很大程度上决定于所采用的 EDA 设计平台。

笔者使用具备全定制设计功能的 Cadence EDA 设计工具,按照“自顶向下”设计 LCOS 芯片的版图。首先确定 LCOS 芯片的功能、性能、允许的芯片面积和成本等,接着进行结构设计,分化出尽可能简单的子系统,然后把各子系统间的逻辑关系转换成电路图,进行电路逻辑设计和电路仿真,采用全定制方法研制 LCOS 芯片的基本单元库,最后按照半定制设计流程综合出整个 LCOS 芯片版图。

5 光机技术

LCOS 显示系统光机结构分为三片式和单片式结构。如图 11 所示,LCOS 投影显示系统的三片式结构从整体上分为 RGB 三条光路^[9],光源所发出的光束经过照明聚光系统的均匀化并起偏后形成入射偏振光,每一偏振基色光照射到与自己颜色相对应的 LCOS 显示芯片上,再通过 LCOS 显示芯片的调制反射和合色棱镜的光束合成后,通过投影镜头将图像投射到屏幕上。三片式通常用于具备足够安装空间的大屏幕投影系统。

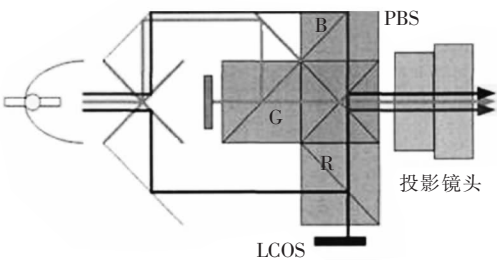


图 11 三片式 LCOS 光引擎

Fig. 11 Optic engine for 3-LCOS-panel

图 12 是单片式 LCOS 投影显示系统结构示意图^[10],其最大的优点在于仅需要一块 LCOS 显示芯片。在图 12(a)所示意的单片式大屏幕投影光机中,通过色轮快速旋转切换方式将光源产生的白光形成循序的红、蓝、绿三基色时序光,并将三基色时序光与显示芯片产生的红、蓝、绿时序画面同步形成分色影像,再借助人眼视觉特性,最后在人脑产生彩色的投影画面。由于色轮为微型电机作动力的机械装置,该方法通常用于具备足够安装空间的大屏幕投影系统。

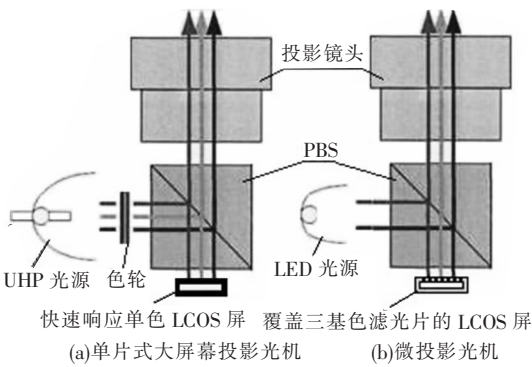


图 12 单片式 LCOS 光机

Fig. 12 Optic engine for single-LCOS-panel

在微型投影机中由于整机空间有限,一般采用单片式投影光机结构,光源也采用空间占用尺寸较小的 LED 光源,即通过控制三基色 LED 产生红、蓝、绿三基色时序光,其效果等同色轮的作用;或者如图 12(b)所示,采用 LED 白光光源与由三基色滤光片覆盖的 LCOS 屏组合实现彩色显示。

6 光源技术

目前在 LCOS 大屏幕投影显示产品中普遍使用的 UHP 光源,不仅光效高(65~70 lm/W),

在一定的功率下可产生很大的光通量,而且 UHP 光源的发光弧很短,光学扩展量较小。但 UHP 光源存在光源寿命短、发热高、发紫外光等问题。近年发展起来的 LED 光源尽管单管功率小,但具有体积小、寿命长、色彩饱和度、响应时间极短等优势,随着大功率 LED 的出现,现已在微型投影系统中得到广泛应用。

7 显示控制接口电路技术

LCOS 显示控制电路的主要作用是把视频/图像数字信号转换成 LCOS 显示器能显示的数据格式。因为 LCOS 显示器与其它平板显示器一样,仅支持逐行扫描格式的数据输入,且分辨率也是固定不变。因此,必须将不同扫描格式的图像数据经过转换电路对画面像素数目进行变换,使之与 LCOS 显示器显示规格相适合。笔者设计的与数字式 LCOS 显示器相匹配的显示控制器结构如图 13 所示。

图中视频解码器可采用 PHILIPS 的 SAA-7111A 或 SAMSUNG 的 KSO127。这两种解码器都能自动识别输入视频信号的制式,然后解码输出 24 bit RGB 或 16 bit YUV 数字信号,同时输出 Hsync、Vsync、Blank 及采样时钟。对于 VGA 信号,可以采用 Motorola 的 MC44251 等芯片进行视频信号的 A/D 变换。然后由 FPGA 对该 8 位数字信号进行采样,产生 LCOS 显示器需要的时序彩色 VGA 信号。

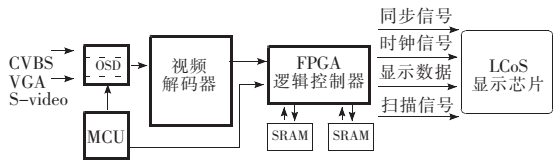


图 13 FPGA 作显示控制器的框图

Fig. 13 Block drawing of the display controller with FPGA

本文采用现场可编程逻辑门阵列(FPGA)构造逻辑作为 LCOS 显示控制器。由于能通过对 FPGA 进行逻辑编程实现液晶显示控制器的功能^[11],可以根据不同的液晶材料提供相应的 gamma 校正,根据不同的显示模式供给相应的多相时钟信号,以及提供足够功率的驱动信号等,而不需要额外硬件资源^[10]。

8 LCOS 技术在中国的现状和未来发展趋势

LCOS 显示屏是硅平面技术与平板显示技术发展相对成熟阶段结合而诞生,因而具有了 VLSI 技术的全部设计特征。LCOS 的发展业者集中在美英两地的 Fabless 公司,包括 Three-Five、Aurora(原 S-Vision)、MicroPix、Microdisplay、Kopin、Displaytech、SpatiaLight 等。

近年来,我国在 LCOS 投影机光学引擎、光源、整机设计及 LCOS 芯片设计、液晶板制造方面均有研发,除了大学和研究所外,还吸引了很多企业参与,一些技术已经达到或接近产业化水平。实际上,我国在 LCOS 投影产业方面已拥有众多有利因素。首先,实现 LCOS 投影所必需的大部分关键技术已经本土化,这包括光学引擎、光源、

投影屏幕等关键部件已能在上海、北京、深圳等公司批量生产。其次,国内公开资料指出,我国家电行业的龙头企业如长虹、康佳和创维等已将 LCOS 投影电视作为重点产业化发展对象,而且杭州、南昌等地与光电子相关的研究所和公司已建立了 LCOS 显示器的后加工和光学零部件生产线。这说明我国已形成 LCOS 发展的环境需求。

我国在向 LCOS 技术领域进军中,并没有停留在低技术含量的系统组装范畴,以南开大学等一批高等院校、科研机构为先驱,在不同资金渠道的支持下,率先对具有中国自主知识产权(IP)的 LCOS 显示芯片^[8]展开了研发。可以预见,在中国,以 LCOS 技术为核心的新型显示产业即将兴起。

参 考 文 献:

- [1] 张斌,龚光磊,葛晨阳,等. 基于 LCoS 微显示屏的眼镜电视[J]. 液晶与显示, 2008, 23(6):700-703.
- [2] 安凯,张文,冯亚云,等. 基于 LCoS 投影显示的一种新型偏光转换装置[J]. 液晶与显示, 2007, 22(1):51-53.
- [3] 邹静燕,金笑丛,袁旦,等. 基于单片 LCoS 四基色时序彩色显示的模拟[J]. 液晶与显示, 2007, 22(1):55-58.
- [4] 代永平,孙钟林,王隆望. 彩色硅基液晶显示芯片的研制[J]. 液晶与显示, 2001, 16(4):299-305.
- [5] 王文博,王晓慧,黄蓐,等. LCOS 微显示驱动芯片表面形貌研究与改进[J]. 液晶与显示, 2008, 23(5):629-612.
- [6] Michael Stefanov. Manufacturing LCOS microdisplays [J]. *Information Display*, 2000, 16(7):24-26.
- [7] Huang H C, Wong Y T, Nguyen C T, *et al.* Planarization of liquid-crystal-on-silicon projection display with multi-level metallization and chemical-mechanical polishing [J]. *SID'96 Digest*, 1996, 27(19):685-688.
- [8] Dai yongping, Liu yanyan, Geng weidong, *et al.* Development of an 8-bit VGA LCOS microdisplay with FSC modes using a low-cost process [J]. *J. Society for Information Display*, 2006, 14(3):14-17.
- [9] Meuret Youri, De Visschere Patrick. Optical engines for high-performance liquid crystal on silicon projection systems [J]. *Opt. Eng.*, 2003, 42(12):3551-3556.
- [10] Dobler M, Lueder E, Laner H U, *et al.* An improved frame-sequential color projection with modified CdSe-TFTS [C]//*SID 1991 Digest*, California, USA; SID, 427-429.
- [11] 施保华, 金晓波, 越广州, 等. 用 FPGA 构成液晶显示控制器[J]. 电子产品世界, 2001, 17(5):17-19.

Technology for LCOS Microdisplay

DAI Yong-ping

(Institute of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technique of Nankai University;
Key Laboratory of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technique of Tianjin;
Key Laboratory of Photo-Electronic Information Science and Technology (Nankai University), Ministry of Education,
Tianjin 300071, China, E-mail:daiyp@nankai.edu.cn)

Abstract

Liquid-Crystal-on-Silicon(LCOS) microdisplay is a sort of display that operates in a reflective mode. And its perimeter-driver and active-pixel-matrix is fabricated on a silicon chip, which acts as substrate of the liquid-crystal-gap, using CMOS technology. So it has both small size in volume and high resolution for display. In this paper, the fabrication and application for LCOS display are described in detail, and real status for LCOS technology are shown.

Key words:liquid-crystal-display panel; reflective; micro-projector; optic-engine

作者简介:代永平(1968—),男,云南昆明人,博士,副教授,主要从事 LCOS、SoC 芯片技术与开发。

2008 年物理学类期刊影响因子排序(前 10 名)

序号	期刊名称	影响因子
1	CHIN PHYS	1.960
2	物理学报	1.566
3	光谱学与光谱分析	1.162
4	液晶与显示	1.156
5	红外与毫米波学报	1.117
6	光子学报	1.092
7	光学学报	0.922
8	声学学报	0.807
9	应用光学	0.803
10	Advances in Atmospheric Sciences	0.674

在“中国科技期刊引证报告”统计的 1 765 种期刊中,《液晶与显示》期刊的影响因子在总排序中为 91。

摘自“中国科技期刊引证报告(核心版)”2008 年版