

裸视 3D 显示技术概述

王琼华, 王爱红, 梁 栋, 邓 欢

(1. 四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065;

2. 四川大学 视觉合成图形图像技术国家重点学科实验室, 四川 成都 610065)

Overview on Glasses-Free 3D Display Technologies

WANG Qiong-hua, WANG Ai-hong, LIANG Dong, DENG Huan

(1. School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. State Key Laboratory of Fundamental Science on Synthetic Vision, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The viewers can perceive stereoscopic effect from glasses-free 3D (three-dimensional) displays without wearing any special aided devices such as glasses. Several technologies of glasses-free 3D displays have been developed as people's understanding about 3D displays deepens. This paper reviews the principle and properties of the main glasses-free 3D displays, including parallax barrier or lenticular lens based 3D display, integral imaging 3D display, volumetric 3D display and holography 3D display.

Key words: Glasses-free 3D display, Parallax barrier or lenticular lens based 3D display, Integral imaging 3D display, Volumetric 3D display, Holography 3D display

摘要: 裸视三维(3D)显示中, 观看者无需配戴眼镜等任何助视设备就能观看到立体效果。随着人们对 3D 显示的认识不断加深, 已提出多种裸视 3D 显示技术。本文综述了目前主流的裸视 3D 显示技术, 包括光栅 3D 显示、集成成像 3D 显示、体 3D 显示和全息 3D 显示的基本原理及特性。

关键词: 裸视 3D 显示; 光栅 3D 显示; 集成成像 3D 显示; 体 3D 显示; 全息 3D 显示

中图分类号: TN141 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-8935(2011)05-0001-06

人类生活在一个立体的世界, 显示真实的三维(3D)立体世界是人类的梦想。试想如果显示器都能够显示色彩鲜艳、逼真自然的 3D 画面, 那么观看者将仿佛回归大自然, 获得更加震撼的沉浸感和参与感。然而, 目前已商品化的 3D 显示技术多数是助视 3D 显示, 其原理是采用分色眼镜、偏振光眼镜和快门眼镜等分光元件将左右视差图像分别呈现给左眼和右眼。这类方法实现比较容易, 但由于需要观看者配戴眼镜, 从而给观看者带来不便, 且非常不利于一些人群(如小孩和已戴近视或远视眼镜的人)观看。近年来, 无需观看者配戴眼镜等任何助视设备就能观看到立体效果的裸视 3D 显示技术成为 3D 显示领域的研究热点。目前主流的裸视 3D 显示技术主要包括光栅 3D 显示、集成成像 3D 显示、体 3D 显示和全息 3D 显示^[1], 下面分别介绍其基本工作原理及特性。

1 光栅 3D 显示

根据所用光栅不同, 光栅 3D 显示分为狭缝光栅 3D 显示和柱透镜光栅 3D 显示两种。其中狭缝光栅 3D 显示器根据狭缝光栅相对于 2D 显示屏所放置的位置不同, 又可分为前置狭缝光栅 3D 显示和后置狭缝光栅 3D 显示两种。

光栅 3D 显示的结构和原理如图 1 所示。以两视点为例, 将左右视差图像按列间隔分别显示于平面显示屏的奇(偶)列和偶(奇)列像素。狭缝光栅的透光条和挡光条相间排列, 前置狭缝光栅 3D 显示中狭缝光栅的挡光条对光的遮挡作用使得左右眼透过透光条分别观看到平面显示屏上与之对应排列的左右视差图像, 从而实现左右视差图像的光线在空间的分离; 后置狭缝光栅 3D 显示中狭缝光栅将背光源调制成线光源, 位于合适观看位置的观看者的左眼只看到显示屏上的奇(偶)列像素, 而偶(奇)列

像素相对于左眼是全黑的,同理右眼只看到显示屏上的偶(奇)数列像素,而奇(偶)数列像素相对于右眼是全黑的,从而实现左右视差图像的光线在空间的分离。柱透镜光栅 3D 显示中平面显示屏位于柱透镜光栅的焦平面上,在柱透镜单元的排列方向上,每个柱透镜单元将置于其焦平面上不同位置的左右视差图像光折射到不同方向,从而实现左右视差图

像的光线在空间的分离。综上所述,光栅 3D 显示就是将左右视差图像交错排列在平面显示屏上,利用光栅的分光作用将左右眼视差图像的光线向不同方向传播,当观看者位于合适的观看区域时其左右眼分别观看到左右眼视差图像,经大脑融合便可感知到具有立体感的图像。

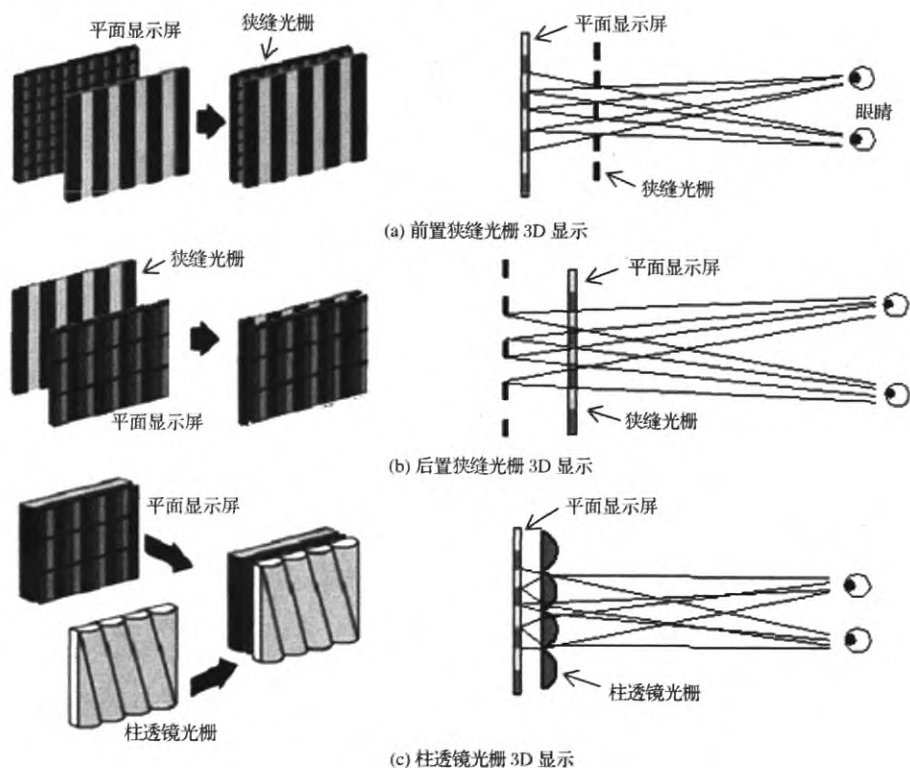


图1 光栅 3D 显示的结构与原理

狭缝光栅 3D 显示中由于狭缝光栅挡光条部分对光线的遮挡导致了 3D 图像亮度的降低;柱透镜光 3D 显示中柱透镜光栅为透明介质,只吸收一小部分光,对 3D 图像亮度影响较小。两视点光栅 3D 显示中,观看者水平移动时有 1/2 的机率观看到伪 3D 图像,即左眼看到右视差图像而右眼看到左视差图像,从而大大降低了立体观看自由度,采用多视点技术或头部跟踪技术可有效地提高立体观看自由度^[2-3]。光栅 3D 显示中显示屏在水平方向上周期显示 $N(N \geq 2)$ 幅视差图像信息,从而单幅视差图像的水平分辨率为显示屏分辨率的 $1/N$,而垂直分辨率并没有受到影响,两者之间的失衡导致 3D 图像质量下降,为此,可将光栅以一定角度倾斜放置^[4],使得水平分辨率及垂直分辨率都有所下降,同时,光栅倾斜放置还可减轻甚至消除莫尔条纹现象。此外,光栅 3D 显示的性能也在不断地得到提高,例

如:高帧频及双光栅等技术用来提高光栅 3D 显示的 3D 图像分辨率;双狭缝光栅、阶梯狭缝光栅、视差图像灰度调整、子像素位置调整等技术用来减轻甚至消除视差图像间的串扰;液晶狭缝光栅及液晶柱透镜光栅技术用来实现 2D/3D 显示模式的兼容^[5-12]。

2 集成成像 3D 显示

集成成像 3D 显示包括记录和再现两个过程,如图 2 所示。记录过程利用一个记录微透镜阵列对物空间场景成像,并把像记录到位于微透镜阵列焦平面处的胶片上。由于构成记录微透镜阵列的每个透镜元从不同的方向记录一部分场景信息,因此每个透镜元下对应生成了一幅不同方位视角的微小图像,即图像元。显然,根据这一过程,物空间任意一点的立体信息就被与透镜元个数相同的图像元扩散记录于整个胶片上,而胶片上所记录到的像称为图

像阵列。再现过程利用与记录微透镜阵列具有同样参数的再现微透镜阵列,并把记录有图像阵列的胶片放在再现微透镜阵列后方的焦平面处,则根据光路可逆原理,再现微透镜阵列把许许多多图像元透射出来的光线聚集还原,从而在再现微透镜阵列的前方重建出物空间场景的 3D 图像。由集成成像技术再现的 3D 图像包含全真色彩以及连续的视差信息,观看者可获得观看真实景物的感觉。此外,该

3D 显示技术中微透镜阵列可以用针孔阵列代替。

由于电耦合器件(CCD)记录器件和液晶显示(LCD)等再现器件的发展,图 2 所示的集成成像中的记录端胶片可由 CCD 代替,再现端的胶片可由显示屏代替,其对应的两个过程分别称为拍摄和显示。上述拍摄过程也可以用 3DS MAX 等 3D 建模软件来完成^[13]。

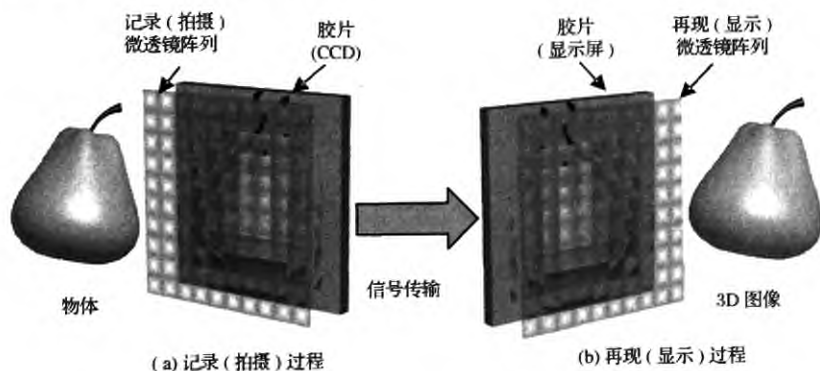


图 2 集成成像的原理图

根据微透镜阵列与显示屏间的距离 g 与透镜焦距 f 间的关系,集成成像 3D 显示模式可分为实模式、虚模式和聚焦模式三类。当 $g > f$ 时为实模式,3D 图像位于显示微透镜阵列前方;当 $g < f$ 时为虚模式,3D 图像位于显示微透镜阵列后方;当 $g = f$ 时为聚焦模式,可在微透镜阵列的前后同时显示出 3D 图像。

集成成像 3D 显示可供多人同时观看到具有全视差、全真色彩的 3D 图像。但由于微透镜阵列或针孔阵列的使用,以及拍摄器件和显示器件的分辨率有限等因素导致系统显示出的 3D 图像存在不足之处,如:3D 图像深度反转现象;观看视角较窄,只有几度到十几度;立体图像的深度范围非常小;3D 图像的分辨率较低。当然,这些不足在不断得到改善,例如:旋转图像元、光学两步拍摄法、无黑边的计算机两步记录法以及渐变折射率透镜等技术用来消除 3D 图像深度反转现象^[14-17];偏振开关、弯曲微透镜阵列等技术用来增大立体观看视角^[18-19];复合透镜阵列、可变焦透镜阵列及双显示屏(一个是发射型,一个是透射型)等技术用来增大 3D 图像的深度范围^[20-22];多投影机、双显示屏结合半透半反器等技术用来提高 3D 图像的分辨率^[23-24];此外聚合物分散液晶技术用来实现集成成像的 2D/3D 显示模式的兼容^[25]。

3 体 3D 显示

体 3D 显示主要技术有三种:动态屏、上转换发光及层屏显示技术。基于动态屏的体 3D 显示是依靠机械装置旋转或移动平面显示屏,利用人眼的视觉暂留效应实现空间立体显示效果^[26-28]。其中,用于显示平面图像的动态屏可以是直视显示屏或投影显示屏,动态屏的形状可以是平面型或螺旋型。图 3 所示为基于动态屏的体 3D 显示系统,该系统主要由动态屏、成像装置、电机、3D 数据接口以及计算机组成,若动态屏是直视显示屏则无需成像装置。这种体 3D 显示方式能实现 360° 观看,但都具有复杂的机械装置,其体积庞大,3D 数据量非常巨大,且很难实现真实场景和有遮挡关系的场景的显示等特点。

基于上转换发光的体 3D 显示是使用两束不同波长的不可见光束来扫描和激励位于透明体积内的光学活性介质^[29],在两光束的交汇处取得双频两步上转换效应而产生可见光荧光,从而实现空间立体图像的显示,如图 4 所示。这种体 3D 显示方式无需采用任何用于旋转或移动部件,因而大大提高了系统的稳定性,降低了工作噪声;但是,目前尚缺乏合适的激励源和具有充分光转换效率的发光介质,体素被串行激活,体素总数不够多,无法表述复杂的图像信息或活动的光点信息。

基于层屏的体 3D 显示使用高速投影机将待显示的立体物体的深度截面连续投射到由距离观看者远近不同的层屏组成的显示体相对应的深度位置上^[30],且保证在较短时间(如 1/24 s)内完成在显示体上的一次投影成像,利用人眼的视觉暂留效应,观看者可在显示体前方任意位置观看到 3D 图像。如图 5 所示,基于层屏的体 3D 显示系统由高速投影机、层屏和控制系统构成。高速投影机采用背投方式,且要求其帧频达到 1500 Hz,一般采用 DLP 投影机。层屏一般采用液晶散射屏制成,液晶散射屏

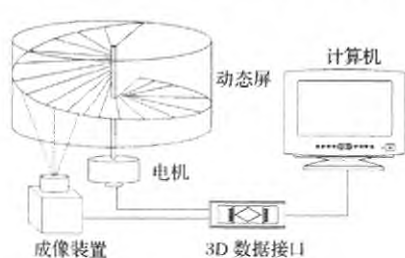


图 3 基于动态屏的体 3D 显示系统结构示意图

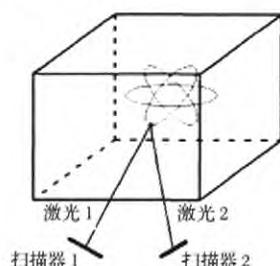


图 4 基于上转换发光的体 3D 显示原理示意图

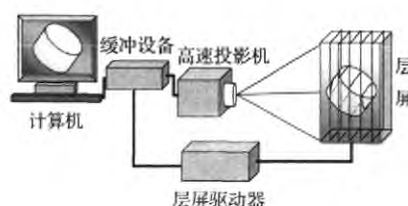


图 5 基于层屏的体 3D 显示系统原理图

4 全息 3D 显示

全息技术利用干涉原理,将光波的振幅和相位信息都记录下来,使物光波的全部信息都存储在记录介质中。当用光波照射记录介质时,根据衍射原理,就能重现出原始物光波,从而能够实现十分逼真的立体像再现。基于全息技术的 3D 显示被认为是理想的 3D 显示方式,越来越受到人们的关注。

传统全息技术是利用空间物理光学进行再现的,它使用银盐、明胶等化学介质和感光材料来记录全息图。随着计算机技术和数字传感技术的发展,特别是电荷耦合器件等数字光敏元件的出现,并且随着分辨率的逐步提高,全息技术从需要化学介质感光材料记录及化学处理发展到数字记录及数字再现,形成了一门全新的全息技术——数字全息技术。

采用数字全息可实现动态 3D 显示,但目前尚不能得到高分辨率的空间光调制器(SLM)。为此,一种基于可擦写材料的全息 3D 显示技术应运而生^[32-33]。通常,用于全息 3D 显示的光敏聚合物由于利用了化学反应,故其不能复原。而可擦写的全息 3D 材料的关键是采用了基于光生电荷运动和诱捕的光致折变聚合物材料,这种材料具有可逆特性。利用两束相干激光和外部施加电场在聚合物中形成复制了干涉图案的空间电荷场,空间电荷效应对局部折射率进行改变,使得全息图以折射率图案的形

具有光开关特性,能够根据施加电压与否在透明与不透明两种状态之间快速切换。控制系统包括层屏驱动器、计算机和缓冲设备。投影机将物体的深度截面连续投射到层屏上,其中每帧图像切片都停留在相应深度的层屏处,从而得到均匀有序的体素阵列,实现 3D 显示。这种体 3D 显示方式存在层屏间的亮度不均匀、远离投影机的层屏亮度很低。另外,3D 图像是由 2D 图像切片堆叠而成,从而缺乏真实立体感,可采用一种抗锯齿技术对此进行改善^[31]。

式编码。

美国研究人员已研究出基于可擦写材料的全息 3D 显示系统。该系统采用了脉冲激光全息记录装置和光致折变聚合物材料。一个脉冲激光用来写入一个全息单元。如果一个全息单元的尺寸为 1 mm,那么记录一个 4 英寸×4 英寸大小的全息图大约只需要 2 s。这种全息图的再现是采用一束相干的有颜色的 LED 光源,再现像在室内正常环境光下清晰可见,如图 6 所示。

该系统采用的光致折变聚合物具有两个特点:①在有光照的情况下,全息记录介质上的干涉条纹的消退时间比无光照的情况下更短;②当在全息记录介质上重新写入一张新的图像时,新的干涉条纹会立即擦除掉旧的干涉条纹。由于这两个特点,使得这种全息图的更新能够达到一种类似于实时的速度。擦除旧的全息图和记录新的全息图所需要的时间大约为 2 s,所以这种基于可擦写材料的全息图的刷新时间大约为 2 s。

这种光致折变聚合物还具有一个特性,就是当采用两束正交的偏振光时,能够产生两幅互不干扰的全息图。所以可以用两种不同颜色并且彼此正交的物光来同时记录物体,这样就可以实现彩色全息显示。

当然,这种可更新的全息图仍然对震动很敏感,

同时,它的更新速度也还没有完全达到实时的速度,所以研究人员力求研制出更快速记录和低延迟时间

的光折变聚合物,从而实现真正的动态 3D 全息显示。



图6 基于可擦写材料的全息图的再现像

参 考 文 献

- [1] 王琼华. 3D 显示技术与器件[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [2] 张兆杨, 安平, 刘苏醒. 3D 多视点立体显示及其关键技术[J]. 电子器件, 2008, 31(1): 302-306.
- [3] Brar R S, Surman P, Sexton I. Projection-Based Head-Tracking 3-D Displays [J]. Journal of the Society for Information Display, 2010, 18(10): 844-854.
- [4] Cees V B. Image Preparation for 3D-LCD [C]. SPIE Stereoscopic Displays and Applications, 1999, 3639: 84-90.
- [5] Lee H J, Lee J D, Jang H W, *et al.* A High Resolution Autostereoscopic Display Employing a Time Division Parallax Barrier [C]. Society for Information Display 06 Digest, 2006: 81-84.
- [6] Huang Y P, Chen C W, Shen T C. High Resolution Autostereoscopic 3D Display with Scanning Multi-Electrode Driving Liquid Crystal (MeD-LC) Lens [C]. Society for Information Display 09 Digest, 2009: 336-339.
- [7] Tao Y H, Wang Q H, Gu J, *et al.* An Autostereoscopic Three-Dimensional Projector Based on Two Parallax Barriers[J]. Optics Letters, 2009, 34(20): 3220-3222.
- [8] Luo J Y, Wang Q H, Zhao W X, *et al.* Autostereoscopic Three Dimensional Display Based on Two Parallax Barriers [C]. Proceedings of the International Symposium on Photonics and Optoelectronics, Digital Object Identifier, 2010: 1-3.
- [9] Zhao W X, Wang Q H, Li D H, *et al.* Pixel Arrangement of Autostereoscopic Liquid Crystal Displays Based on Parallax Barriers [J]. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 2009, 507(1): 67-72.
- [10] Li X F, Wang Q H, Tao Y H, *et al.* Crosstalk Reduction in Multi-View Autostereoscopic Three-Dimensional Display Based on Lenticular Sheet [J]. Chinese Optics Letters, 2011, 9(2): 021001-1-021001-3.
- [11] Lee Y G, Ra J B. Image Distortion Correction for Lenticular Misalignment in Three-Dimensional Lenticular Displays [J]. Optical Engineering, 2006, 45(1): 017007-1-017007-7.
- [12] Lee B, Park J H. Overview of 3D/2D Switchable Liquid Crystal Display Technologies [C]. Proceedings of SPIE, 2010, 7618: 7681806-1-7681806-1025.
- [13] 焦甜甜, 王琼华, 李大海, 等. 基于 3DS MAX 的集成成像研究 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(5): 621-624.
- [14] Lee B, Park J H, Min S W. Digital Holography and Three-Dimensional Display [M]. Springer, 2010: 33-378.
- [15] Ives H E. Optical Properties of a Lippmann Lenticuled Sheet [J]. Journal of the Optical Society of America, 1931, 21: 171-176.
- [16] Deng H, Wang Q H, Li D H, *et al.* Realization of Undistorted and Orthoscopic Integral Imaging Without Black Zone in Real and Virtual Fields [J]. Journal of Display Technology, 2011, 7(5): 255-258.
- [17] Aral J, Okano F, Hoshino H, *et al.* Gradient-Index Lens-Array Method Based on Real-Time Integral Photography for Three-Dimensional images [J]. Applied Optics, 1998, 37: 2034-2045.
- [18] Jung S, Park J H, Choi H, *et al.* Wide-Viewing Integral Three-Dimensional Imaging by Use of Orthogonal Polarization Switching [J]. Applied Optics, 2003, 42: 2513-2520.
- [19] Kim Y, Park J H, Choi H, *et al.* Viewing-Angle-Enhanced Integral Imaging System Using a Curved Lens Array [J]. Optics Express, 2004, 12(3): 421-429.
- [20] Choi H, Park J H, Hong J, *et al.* Depth-Enhanced Integral Imaging with a Stepped Lens Array or a Composite Lens Array for Three-Dimensional Display [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2004, 43: 5330-5336.
- [21] Hwang Y S, Yoon T H, Kim J C. Integral Photogra-

- phy (IP) Using Variable Focusing Lens Array (VF-LA) for Enhanced Integral Image Depth [C]. Proceedings of International Display Workshops, Fukuoka, 2003; 1449—1452.
- [22] Jin F; Jang J S, Javidi B. Three-Dimensional Integral Imaging with Large Depth of Focus by Use of Real and Virtual Image Fields [J]. Optics Letters, 2003, 28 (16): 1421—1423.
- [23] Sakai H, Yamasaki M, Koike T, *et al.* Autostereoscopic Display Based on Enhanced Integral Photography Using Overlaid Multiple Projectors [C]. Society for Information Display 09 Digest, 2009; 611—614.
- [24] Kim Y, Jung J H, Kang J M, *et al.* Resolution-Enhanced Three-Dimensional Integral Imaging Using Double Display Devices [J]. Lasers and Electro-Optics Society, 2007; 356—357.
- [25] Park J H, Kim H R, Kim Y, *et al.* Depth-Enhanced Three-Dimensional-Two-Dimensional Convertible Display Based on Modified Integral Imaging [J]. Optics Letters, 2004, 29; 2734—2736.
- [26] Geng Z J. Method and Apparatus for High Resolution Three Dimensional Display[P]. US: 6064423, 2000.
- [27] 姜太平. 真三维立体显示技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
- [28] 林远芳, 刘旭, 刘向东, 等. 基于旋转二维发光二极管阵列的体三维显示系统[J]. 光学学报, 2003, 23(10): 1158—1162.
- [29] Downing E, Hesselink L, Ralston J, *et al.* A Three-Color, Solid-State, Three-Dimensional Display [J]. Science, 1996, 273(5279): 1185—1189.
- [30] 高伟清, 冯奇斌, 吕国强, 等. 固态体积式真三维显示器高速投影镜头设计[J]. 激光与光电子学进展, 2010, 47(1): 011204—1—011204—7.
- [31] Sullivan A. DepthCube Solid-State 3D Volumetric Display [C]. Proceedings of SPIE, 2004, 5291; 279—284.
- [32] Tay S, Blanche P A, Voorakaranam R, *et al.* An Updatable Holographic Three-Dimensional Display [J]. Nature, 2008, 451(7): 694—698.
- [33] Blanche P A, Bablumian A, Voorakaranam R, *et al.* Holographic Three-Dimensional Telepresence Using Large-Area Photorefractive Polymer [J]. Nature, 2010, 468(4): 80—83.

收稿日期: 2011—08—10

动态信息

日企业开发出微型硅光子光源助推光互联 LSI 研发

据《日刊工业新闻》2011年9月16日报道,富士通研究所近日对外宣布,为实现 LSI 芯片的光互联,该所成功研制出微型硅光子光源,开创了 LSI 无需温度调节结构之先河。

光互联技术可使 LSI 心脏部件中央运算处理装置(CPU)之间进行大容量信息的高速传输,其设置在 CPU 旁边光收发器上的光源由硅与光融合的硅光子技术制成。

一旦实现光互联,今后 CPU 之间不仅可以每秒传输数十太字节级别的大容量信息,还可使用硅半导体制造技术低廉地实现集成化和大规模化。如采用使载有光收发器的光源与光调制单元工作波长自动协调的结构,则无需温度调节,最大限度地做到小型化和节电。

超级计算机的运算速度近年来,每1年半以两倍的速度向前发展,日本正为2020年推出比目前超级计算机快100倍以上的 EXA FLOPS 级别的下一代超级计算机做准备,届时 EXA 超级计算机将具备每秒100京次浮动小数点演算功能。

报道说,微型硅光子光源的详细内容将在伦敦召开的硅光子国际会议(GFP2011)上披露。

(来源:科技部)