

激光数字计算机研究展望*

赵鼎文

(山西省电子工业科学研究所)

提 要

本文概括介绍激光数字计算机研究的进展情况,如问题的提出、进展、转折以及目前取得的成果。较全面地叙述激光在计算技术中的地位。全文力图窥望和揭示再下一代数字计算机——第五代计算机的诱人前景。

引 言

大家知道,自从1946年利用能快速作用的电子管,在当时科学技术发展的水平上,结构成虽然体态庞大但确有成效的电子计算机以来,由于它在科学、工程、军事及国民经济各方面广泛的重要作用,促使这一尖端技术在仅仅三十年的时间里,就已经历了三个技术年代的变革。现在正向着第四代——大规模集成电路计算机过渡。是哪些因素在引导、支配和决定着计算技术的发展呢?毛主席在《实践论》中指出:“人类的生产活动是最基本的实践活动,是决定其它一切活动的东西。”恩格斯在《自然辩证法》中说:“科学的发生和发展从开始起便是由生产所决定的。”卅年来计算技术的发展同样是受着人类生产活动反映在这一学科中的一些基本要求所引导着的。概括地说这些基本要求是:1. 自动化功能; 2. 可靠性; 3. 操作运算速度; 4. 存储数据的容量; 5. 装置的体积。

把各个时期在上述几方面所达到的指标综合起来,并填入对未来年代的估计以及相

比拟的人类能力,见表1所示^[1,2]。

很多年来,科学技术一直在不断地为减轻人们的体力劳动和脑力劳动的强度而寻找各种工具。前者谓之动力论方面,后者谓之控制论方面。电子计算机作为控制论方面的一个有力工具,它能自动高速地完成一些确定的、已规律性的“脑力劳动”,从而使人们从重复繁琐的,特别是从控制高速运转机械的紧张状态下解放出来。从表1看出,发展到现阶段的电子计算机,它的可靠性、体积和工作能力均有成百上千倍的提高,已比较能满足一般应用的要求。但是,对于一些迅速进展着的尖端科技问题,或是存在于人们日常活动中的大量事实,现代的快速电子计算机也还是不够满意的。譬如,由侦察卫星探测各种资源的遥感资料的数据传输率已大大超过电子计算机的能力;地震勘探中成吨重的资料用最快的电子计算机也需处理几年;在卫星对抗、反导弹头导弹等方面也都要求有更快的运算速度。在核物理实验分析以及科技情报的收集检索上,又要求计算机具有更大的数据存储容量。也即现在的电子计算机

* 收稿日期: 1978年10月7日。

表 1

技术年代	开始 时间	自动功能	可靠性	快		大		小	
			故障平均 间隔时间 (小时)	元件操作 速度 (兆周/秒)	平均运算 速度 (万次/秒)	存储体 容量 (字)	存取 时间 (秒)	零件 功耗 (量级)	组 装 密 度 (个/米 ³)
电子管	1946	手编程序 形式逻辑运算	N^*	N	N	10^8	10^{-5}	瓦	10^5
晶体管	1955		$N \times 10^2$	$N \times 10$	$N \times 10$	10^4	10^{-7}	百毫瓦	10^6
集成电路	1959	程序自动化	$N \times 10^4$	$N \times 10^2$	$N \times 10^2$	10^5		毫瓦	10^9
中大规模 集成电路	1969				$N \times 10^3$	$10^6 \sim 10^8$			
激 光		空间线路人 工智能		$N \times 10^6$	$N \times 10^4$	10^{16}		微瓦	10^{10}
人类能力		无限地认识, 高级辩证思维 活动	能自愈 及治愈	慢	慢	10^{21}	10^{-1}		10^{13}^{**}

表中: * N 表示 1~9 的数字 ** 人类细胞的平均密度

无论在运算速度或是在数据存储的容量上都远远不能满足要求。因此人们希望再改进和提高机器性能,研制速度更快的、数据存储容量更大、自动功能更强、可靠性更高而体积更小的计算机。这就要求探索新的功能结构,新的运载讯息的物理实体——计算机的基本元件。

神经元激光计算机的研究

当代的电子计算机是以百万计的焊点,连接数百万计的磁性零件和阻容零件,以及数以万计的有源器件而构成的复杂电子装置。虽然在应用微电子学工艺后,计算机已实现集成化、组件化,其可靠性大大提高了,特别在缩小体积方面已取得显著进展。但当进一步微型化时,在器件及其内部联接方面将会产生一系列的问题。其中一个问题,是当器件尺寸缩小时,每个器件接头的数量并没有显著地减少,因而可能形成在一个点上密集大量接头的情形。或许可以用沉积方法得到直径在几千埃至 1 微米范围的“接线”。

但是,当做成 1 微米粗细的铜线时,它将呈现 10^3 欧姆/厘米数量级的电阻率。显然当被连接的各零件间仅相隔几微米时,可能还不会引起困难。但是当接线有几厘米长时,信号的衰减就将是严重的。

基于上述分析,1960 年有人即提出“神经元”(Neuristor)的概念。这是一种新型的器件。它不是离散的、集中参数的,而是一种分布式的、具有可复原而无损耗特性的“传输线”。由于它的有源和无源作用过程的分布形式,使得信号能沿着这种传输线无衰减地传播。在进一步研究后,得出用神经元做有源传输线还可实现数字逻辑的功能^[3]。而后于 1961 年实验证实,应用光学纤维中的光激射效应形成“神经元”,作为分布有源传输线型式的器件来组成“全光计算机”,在物理学上是可行的。

在上述工作的基础上,1962 年发表了“神经元激光计算机的可行性”报告^[4]。在报告所介绍的计算机中,所有的讯息和控制信号都是以光能的形式出现的。含有适当激活和吸收离子浓度的光学纤维器件是该系统的

基本元件。计算机的“动力”是以连续的光照射——光抽运的方法来供给的。这样即对激活离子持续地供给抽运功率，以维持其反转占有数。这样一个系统的特点是其“电源”和各线路间是自由的——即无实际的物理接触。而且在一定位置之间传输信号也不要物理接触来连接。同时这样的系统能高速操作。研究工作还从理论上分析了神经元激光数字器件的基本特性，诸如放大作用的阈值、幅度整形、信号单向传送，以及信号的反相和禁止逻辑作用。

关于神经元激光计算机研究的最后成果未见报导。从谈到这方面问题的资料及有关研究人员工作重点的转移情况看^[7]，估计这项研究未能解决最初已考虑到的一些问题。例如，在脉冲信号作用之后，激光神经元传输线再作第二次操作前需有一段恢复时间。目前可望的最短恢复时间约在1~100微秒的数量级。这就限制了其操作重复频率只能在每秒几千周的比较低的水平上。但是，从这方面的研究中仍然得到一些积极有用的结果。

半导体激光数字逻辑元件的研究

显然，简单的二极管激光器仅仅是方便而有效的可高频调制的发光器件——激光振荡器。要构成能对讯息进行加工的数字逻辑线路还必须发现新的光学效应。归结起来，现在设计和试验的激光数字逻辑线路是基于下述三个光学效应的。

猝灭效应 早在半导体激光器出现以前，就已报导在钹玻璃中激光的猝灭效应。即用一束激光可以“猝灭”在钹玻璃激光器中的光束。可以说在这个事实的启发下，有人于1963年做出在砷化镓激光器中的猝灭效应^[6]。这个猝灭实验的安排如图1所示。两个激光器的尺寸为：长300微米和宽75微米。其间隔距离约75微米。猝灭效应的效率是以猝灭比来表示的。猝灭比定义为：被

猝灭光束的功率除以入射的猝灭光束功率。在这个实验中，光束的猝灭效率是很低的。基于这个实验事实，后来有人对在理想结构下的猝灭效应作了理论分析^[7]，指出在改进器件的耦合结构后，若能使猝灭比大于1时，即能用以实现光学逻辑和存储器件。据1965年初报导，紧密耦合的砷化镓激光器的猝灭比已可达到0.7的水平^[8]。

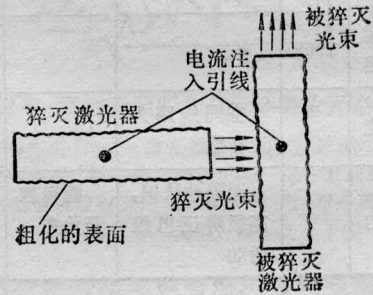


图1 猝灭实验原理图

激光放大作用 我们知道，在对信号进行高速加工的计算机中，除去占主要部分的各种逻辑线路元件外，还必须要有放大整形功能的功率元件，以补偿信号能量在操作、传送中必然发生的衰减。为此，曾研究了在砷化镓激光器中光信号的放大作用^[9]。研究的实验结果指出：在砷化镓激光器中能获得很高的增益。对于很小的输入讯号，其增益可大于1000。这一实验研究的实验设备和结果如图2所示。

饱和吸收开关^[10] 这是在一些巨脉冲激光器中已熟知的效应——吸收滤光器或吸

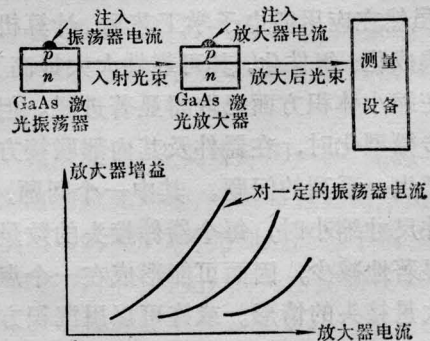


图2 激光放大器实验原理图

收开关作用。即在较低强度下的光束将被吸收开关所吸收。当光束强度超过一个一定的强度阈值时，吸收开关达到饱和而失去吸收能力，这时的吸收开关即呈现透明状态。

基本上应用上述三种效应即可以构成各种激光数字逻辑元件^[11]。

激光反相器 器件的结构和工作原理如图3所示，由半导体激光器构成。其泵浦电流垂直于纸面注入激光器。其抛光的晶体面作为谐振反射面。两个对立抛光面之间的活性介质体积就是一个激光振荡器。为防止不需要的振荡模产生，使不作反射面用的晶体面成毛面。垂直于振荡器的轴向还安排一段活性介质，该段活性介质有一个抛光的信号输入面。

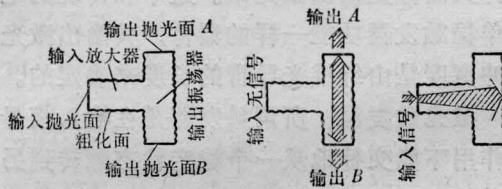


图3 激光反相器结构和工作原理图

当输入面无信号作用时，激光振荡器工作正常。产生振荡并通过两个反射面输出信号。

当输入面有信号到达时，首先它被输入面后的这段活性介质作激光放大。被放大加强后的输入光束在进入谐振器时，破坏了谐振器中活性介质由泵浦所形成的受激状态。发生的猝灭效应使激光振荡器输出端的激光被“猝灭”了，从而完成逻辑上反相的作用。

激光“或非”逻辑线路 “或非”逻辑是只有当各个输入端都没有输入信号作用时，输出端才呈现有信号输出。图4是一个三输入端的“或非”逻辑。该结构基本上是一个有三输入端的反相器。只有在输入端A、B、C均没有光束信号作用时，振荡器才在输出端呈现光束输出。当A或B或C中，只要有一个或一个以上的输入端作用有输入光束信

号，则输出端的光束即被猝灭。这样就实现逻辑上的“或非”。

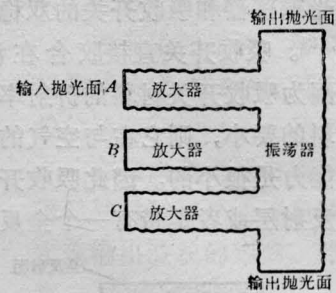


图4 激光或非逻辑结构原理图

激光或门逻辑线路 如图5所示，于“或非”结构的输出端处置一激光反相器，即构成激光“或门”逻辑。

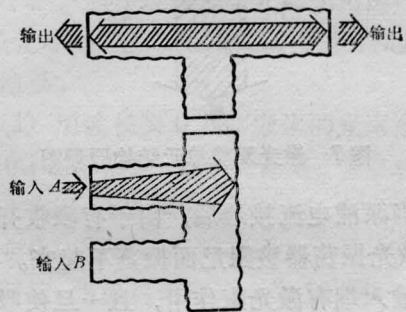


图5 激光或门逻辑结构原理图

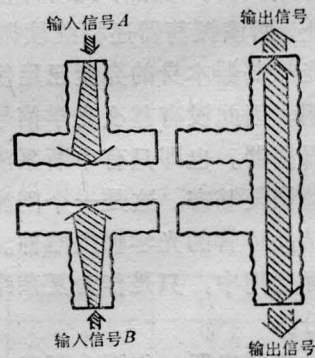


图6 激光与门逻辑结构原理图

激光与门逻辑线路 如图6所示，在或非结构之前，于各输入端处分别设置反相器，则输入端A、B与输出信号间即构成“与”逻辑关系。

激光双稳单元 计算机中不仅需要大量

的逻辑门线路,而且,为对信息进行寄存、计数以及移位还必须要双稳单元。图7所示的是带激光振荡器和吸收开关的双稳单元的原理图^[12,13]。吸收开关直接胶合在激光振荡器上。因为吸收开关材料的折射率比激光半导体材料的要小,则它在与空气的交界面上的反射能力是很小的。因此吸收开关一般必须镀上反射层或者是带有一个全反射面。

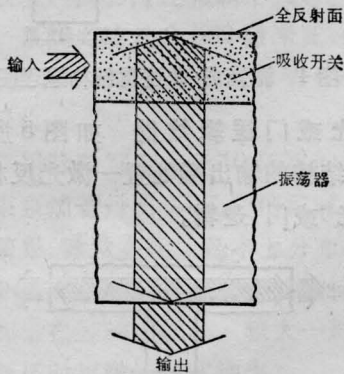


图7 激光双稳单元结构原理图

当泵浦电流接通后,由于有吸收开关存在,激光振荡器被阻尼而振荡不起来。当其侧面输入端有激光束作用,且一旦使吸收开关达到饱和因而变为透明时,则已被泵浦的振荡器就开始振荡。显然,此时即使输入激光束已终止,而该振荡器还将继续振荡。这是由于激光振荡器本身的亮度已足使吸收开关保持透明。因此没有甚么光学信号能关闭这个激光振荡器。也即只有中断泵浦电流才能使振荡器恢复基态。这是一个闸流晶体管或一个单结晶体管的光学模拟器件。这样的器件在实际运用中,只是作为复杂结构器件的组成部分。

激光单稳触发器 如图8所示,由一个激光反相器和一个吸收开关相结合,再加一段用作时间延迟的纤维光导管,即可构成激光单稳触发器。

接通泵浦电流时,激光振荡器不能输出信号。只有当位于吸收开关处的输入端有激光束作用时,才使振荡器开始振荡。而振荡

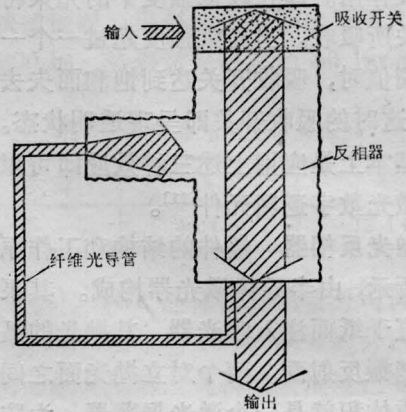


图8 激光单稳触发器结构原理图

器输出信号的一部分通过纤维光导管被引入到反相器的输入端处。显然,经时间延迟的输出信号到达反相器的输入端时,振荡器即被猝灭而停止输出激光束。这个和传统的电子单稳触发器功能一样的器件,其输出激光脉冲宽度是由纤维光导管的长度来确定的。

激光触发器 所谓触发器是在输入信号的作用下能交替地从一个稳定状态翻转到另一个稳定状态的器件。图9表示的是由激光振荡器和吸收开关组合而成的激光触发器^[14]。其活性介质做成十字形。十字臂的每一臂都是一个激光振荡器,在每个振荡器的光路中都包含一个吸收开关。设计使得泵浦能量不足以维持两个振荡器同时振荡。由于有相当一部分活性介质是两个激光振荡器所共有的,因此这个装置每个时刻只能在一个轴的方向上振荡。

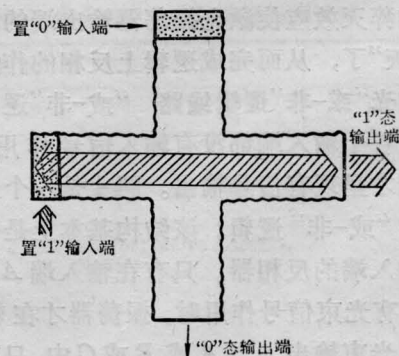


图9 激光触发器结构原理图

当一个激光振荡器已被泵浦但还没有发生振荡作用时，其活性介质的激光放大系数要比同样体积已泵浦并进入振荡的活性介质的放大系数高。因此，在十字形结构的激光触发器中，在输入信号作用下，将易于在未振荡的方向上引起振荡，并由此而猝灭先前在工作的振荡器。

当一个足够强度的激光脉冲作用到不在振荡激光器的吸收开关输入端处时，由上述原理，触发器就将翻转，即振荡改为在输入激光脉冲的方向上进行。显然，在接通泵浦电流时，激光触发器的状态也是完全不能确定的。且在振荡中的输入端加有输入信号时，也不能改变触发器的状态。这些性质和传统的具有置位输入端的电子触发器完全相同。

可计数的激光触发器 在计算机中还需要能够进行计数的触发器，即触发器具有这样一个输入端，当在该输入端处每作用一次输入信号，则触发器将从正在工作的状态翻转到另一个状态。

图 10 所示是可计数的激光触发器的原理结构图。即在图 9 的激光触发器中加入一个分束器就可获得这样的触发器。这种分束器可做成薄膜反射镜式，或者是带有内反射层棱镜式的。

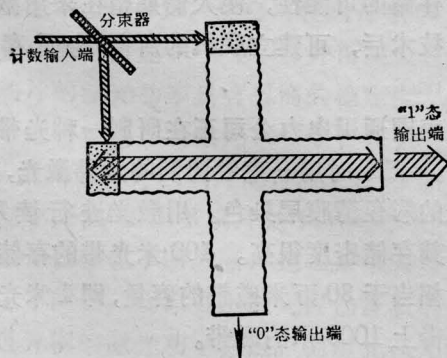


图 10 计数激光触发器结构原理图

图中分束器的作用是使两个激光振荡器具有一个共同的输入端。如上所述，输入信号对正在振荡的激光器不起作用。相反，不

在振荡的激光器却被引入振荡，从而触发器翻转到另一状态，完成了一次计数过程。

从已熟知的电子计算机的逻辑结构知道，应用上面描述的激光逻辑器件已可实现任意的、不论是进行数字运算的，或是进行控制作用的光学逻辑线路。除工艺上的差别外，其性能与任何类型的电子集成电路的应用没有差别。然而，激光逻辑比起集成电路来将有自己的特点。

激光移位寄存器 图 11 所示的是一个三位移位寄存器的例子。移位寄存器由星状排列的三个激光器组成。使泵浦功率只能维持一个激光器的振荡。而每个激光器又包含着两个吸收开关。显然，激光器要能起振，两端的吸收开关必须在短时间内同时都是透明的。由纤维光导管，使每个振荡器都与下一位振荡器的吸收开关相连接。而各激光器的另一个吸收开关则由光导管同时都与输入端处相连。

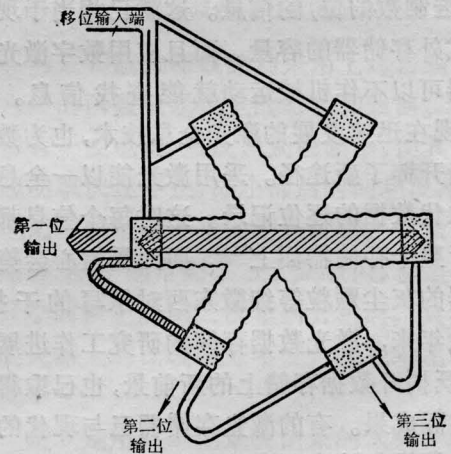


图 11 三位激光移位寄存器结构原理图

则每当一个激光脉冲到达其输入端处时，与已振荡着的激光器以逆时针方向相邻的那个激光器，其两端的吸收开关都满足达到饱和状态——透明的条件，从而使该激光器起振，并使前一激光器的振荡熄灭，而完成了一次移位动作。激光数字逻辑元件的工作过程能在微微秒数量级的时间内完成^[15]。

这是截止目前为止任何电子逻辑器件所达不到的、甚至未能接近的开关速度。

激光数据存储

现代的快速数字计算机所以能获得广泛应用并在科学技术中占有重要地位，除了它能快速地进行数字和逻辑操作运算外，还因为它具有大容量记忆数据和能在高速下进行存取的能力。

在现代的电子计算机中卓有成效地进行工作的各种存储装置，许多都是以磁性层(如磁带、磁鼓、磁盘、磁芯、磁膜以及磁泡)为记忆元件，在电-磁作用下工作的。继现代的半导体集成电路高速存储器之后，开始了用光学原理进行数据存储的试验。当然，用具有高分辨率的光敏或热敏层能获得的信息存储密度是用电磁方法根本达不到的。例如一张中等质量的小幅面幻灯片就已包含若干兆位(二进制数的位)的信息。这就已相当于现有新式外存储器的容量。而且应用数字激光偏转器可以不作机械运动就能查找信息。此外，现在迅速发展的激光全息技术，也为数据存储开辟了新途径。采用激光能以一全息图来取代数据的逐位记录。这时每个信息都分布于整个存储器面上^[16]，而无需担心会掩盖数据的灰尘颗粒等细微东西对录写的干扰。十余年来，激光数据存储的研究工作进展较快，既揭开数据存储上的新前景，也已取得一些实际成果。有的激光存储器已与现代的电子计算机相结合而成功地运转着。

激光随机主存储器 1965年国外曾报导了一个激光存储器的模型^[17]，它类似于曾用在小型电子计算机上的串行的延迟线存储器。如图12所示，运载着数据的一束激光进入相隔3米的、直径为7.5厘米的两反射镜面间，作往返1000次的反射，形成3000米的光程，由此而获得10微秒的光延迟时间。当讯息被以每毫微秒一个二进制数的速度串行

读出时，这样的光延迟线将能存储一万个二进制数信息。当几束激光从不同角度进入系统时，则在反射镜间将同时有几个光束被来回反射。因此一个反射镜系统也能被同时用以存储若干组信息。

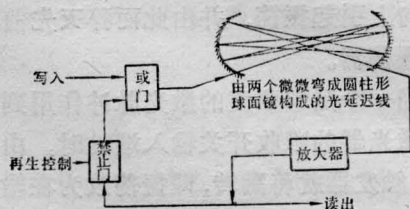


图12 激光串行存储器原理图

根据现代电子计算机的主存储器发展趋势，以及由前面介绍的具有极高开关速度，而工艺结构基于集成化的激光逻辑元件看，可望在集成半导体激光器和光学线路技术获得进展之后，由半导体集成激光存储器构成计算机的主存储器。

外围海量存储器 由于现代科学技术的发展，要求计算机解决的问题愈来愈需要存储大量的信息。目前解决的办法是建立脱机的数据库。例如一般的计算中心都有数以万计的磁带盘存放在架上备用。据说美国联邦普查局的计算中心有20万盘磁带，是世界上第二大数据库。现在，由于激光所提供的高密度存储的可能性，使人们期望在采用激光存储技术后，可建立联机的所谓“海量存储器”。

美国通用电力公司正在研制一种光带存储器。记录时用一束经调制的紫外激光，使光带的彩色薄膜层染色。用激光进行读取。据称其存储密度很高。400米光带的存储容量能相当于30万米磁带的容量，即1米光带可顶得上1000米的磁带。

由美国航天局研制的、已与伊利阿克IV巨型计算机配合进行试验的叫做幼尼康(Unicon)的激光海量存储器^[18]，是利用激光束把塑料片上的金属薄膜烧成小孔来作为存储手段——即制成只读存储器。它联机工

作时的存储容量可以达到 10^{12} 位。

美国霍尼威尔 (Honeywell) 公司研制的一种激光海量存储器, 是利用激光束照射在由锰铋合金材料制成的薄膜上, 使其加热到居里点以上, 以改变薄膜的磁性来进行录写的。其信息存储密度可达 26 兆位/厘米²。存取时间为 30 毫秒。即其存取速度在磁鼓和磁带之间。

美国国际商业机器公司 (IBM) 在设计的应用砷化镓激光器进行读写的激光存储器, 是在氧化铈层上存储信息。设计得使存储密度降低在 4 兆位/厘米² 下工作, 由此而可换得 6 倍的存取速度达到 5 毫秒。

由于激光具有良好的相干性而发展起来的全息技术, 已经在计算机的数据存储方面带来有意义的新特点。除去前面提到的在记录和复原信息上的高抗干扰性能外, 还能在计算机中高速存取二维数据, 以及在同一空间内记录大量信息。最后一点是在信息存储上, 突破了逐点记录一维信息, 而且每一信息必须占据一定空间的传统的数据存储方法。

为使全息技术与现在的数据处理系统相联系, 使由光学方法获得的全息图能与电子计算机的主存储器联接而存取信息, 由美国国家航空和宇宙航行局提出, 在美国无线电公司 (RCA) 进行研制的一种装置, 被称为光取数晶体管矩阵^[21, 22] (Light accessible Transistor Matrix), 简称光晶矩阵 (Latrix), 如图 13 所示。

其中各光晶矩阵元件是由通常的半导体双稳电路构成的。每个电路均带有一个使用光电管的输入端。即借助于这个光输入端, 一个投射到光晶矩阵上的位模图能很快触发双稳电路。每个光晶矩阵元件还具备一个光输出端。根据逻辑状态, 与双稳电路相连的液晶光调制器被置于“透明”或“不透明”状态。这样, 包含在光晶矩阵里的位模随时都可以用照相方法或全息方式传递到一个纯化学的附加存储器中。由于所有的光晶矩阵

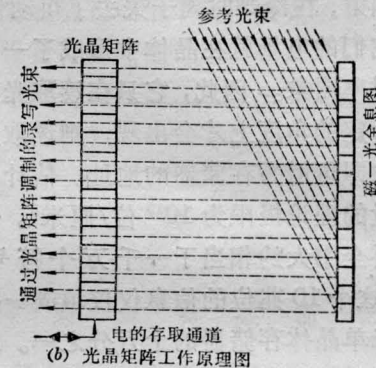
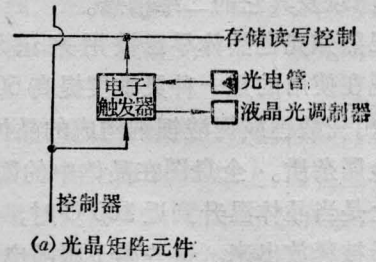


图 13 光晶矩阵原理结构图

位的并行传递使原来无法实现的传递速度成为可能。

全息式光晶矩阵存储器需要研制新的记忆元件。在这里也是利用了居里点温度上铁磁材料将暂时失掉它的铁磁性能的原理而构成所谓居里点层。预磁化了的铁磁层放在与其预磁化方向相反的磁场中, 由足够强度的激光可使其局部地被加热到超过居里点温度, 从而被反向磁化形成一个磁图。借助偏振光即可随时将磁图转换为一个光图。

在这里所研制的居里点层是用锰铋材料制成的。比起光化学层或彩色照相层, 居里点层的优点是显而易见的, 在一个外磁场的作用下即足以将已存储的信息清除掉而可重复使用。

在电子计算机中常常还需要一种叫做固定存储器或只读存储器 (ROM) 的装置, 用来为计算机提供固定的数据、固定的程序等。为此, 美国无线电公司在研制一种单晶体全息存储器^[21], 目的是作为光晶矩阵存储器的补充。作为固定存储器以储存如建筑图表、照

片、地图以及其它的二维信息。

已熟知光色晶体早已被用来记录全息图。现在使用的是一种灵敏度提高 500 倍的物质。由铌酸锂或铌酸钡钠构成的晶体中，再掺以金属杂质。全息图在晶体中的固定，在原理上是当晶体温升到近 100°C 时，这时就有离子被释放出来。这些离子跟随电子图象的吸引力，在冷却时离子失去了可动性。这样，它们的电场就在晶体中形成了一个固定的折射率图象。因此，它只在读取光束在某一个特定的角度上才会出现，则读取光束的入射角即可用为存储器的地址。估计该存储器容量的理论极限为 10^{12} 位/厘米³。一本大英百科全书大约相当于一千万个符号的信息，而这个 10 兆位的信息仅仅填满一个 1 立方厘米单晶体存储器的十万分之一。难怪它被人们称之为“单晶体中的图书馆”。

日本日立公司曾报导已研制成一种全息存储器^[22]。在仅半毫米直径的一个圆面上能存储 2×10^4 位信息。在这种技术水平上，可以把大英百科全书的信息内容安置在两张邮票大小的表面上。信息存储密度可达 10^5 位/毫米²，其存取时间仅为几微秒。适宜作为外围存储器以代替磁盘或磁鼓。

上述一些在设计实验中的全息存储器，实际还处于对一些记录材料存储密度的试验，并未达到能联机应用的阶段，但可从中看到激光存储的广阔前途。

激光逻辑线路的工艺

由前面的叙述可看出，激光逻辑线路的工艺必然是以半导体激光器和现在已获得重大进展的集成电路工艺为基础，同时还必须进一步发展微型光信息传输的新技术。

集成激光器件 图 14 所示的是宜于大批量生产的激光反相器的结构图^[23]。

为了能与现有的集成电路相比较，必须使泵浦功率损耗尽可能地小。为此，如图 15

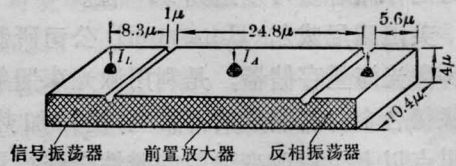


图 14 集成激光反相器工艺结构图

所示，可在晶体上复盖一层二氧化硅绝缘层。该绝缘层仅在必须泵浦的位置上被刻蚀。在绝缘层上再复盖金属层，用以引入泵浦电流。由图中可以看出以这种方法所控制的泵浦区域。

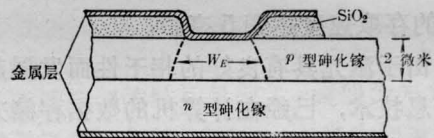


图 15 降低泵浦功率的工艺措施

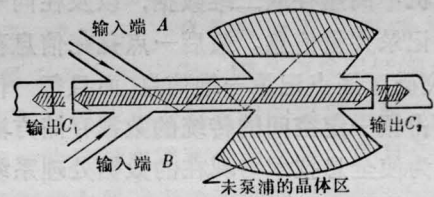


图 16 集成激光“或非”门的工艺结构图

图 16 所示的是一个光集成“或非”门线路。从结构图中看出，为提高线路工作的灵敏度，输入控制光路和振荡器光路紧密交织。而且锯齿耦合路径还使激光器的输入信号光束不离开晶体，被没有泵浦的晶体区吸收掉。

集成光学线路^[24] 应用光学纤维或光导管传输信号只是在较大的部件之间进行连接时使用。复杂集成器件的内部连接则是由具有高折射率的平面波导——透明薄膜完成的。即在平面衬底上制造对机械负载及热负载都具有良好稳定性的薄膜。

较早的制备方法是采用在玻璃中离子交换的技术。最近比较有成效的方法是在载物片上进行高频溅射以形成一层康宁 7059 玻璃薄膜。由此已获得信号传输损耗低于 1 分

贝/厘米, 折射系数 $n_p=1.62$ 、 $n_s=1.52$ 的单模波导。其它在探索阶段的还有离子掺杂、固态扩散及外延生长单晶薄膜等制备方法。最近报导将 Nb 扩散到 LiTaO_3 内而制成厚度为 1 微米的低损耗单模波导。而外延生长单晶薄膜可望成为生产激光波导层的重要组成部分。

如上所述, 微带波导和激光集成器件都是用平面工艺制备的。这种平面工艺非常类似于集成电路的制备方法。但是在制备的集成光路中, 还需要具有更高分辨率的线路图。例如要将波导分隔为 1 微米, 而且要使其边缘粗糙度优于 500 埃。一般的光刻方法已不适应要求。估计用扫描电子束方法可得到令人满意的结果。例如应用软 X 射线和分辨率为亚微米的掩模来重复多次使用的制造工艺。

集成光路的外部连接^[25] 当获得集成光路器件后, 问题就将是怎样将激光束馈入薄膜波导。目前在实验中使用的有两种方法: 棱镜耦合器和光栅耦合器。

起先就是试着让一束激光从边上直接射入 0.8 微米厚的薄膜。这样做不仅效率低, 制造上困难, 而且存在振动问题。以后改进成安装一个全反射的棱镜。情况虽然要好一些, 但这样的方法却与制备上的平面工艺技术是不相容的。

图 17 所示的是现在找到的一种较适宜的连接方法, 即所谓的光栅耦合器。其原理是应用装在光导体上的衍射光栅成功地将信号馈入集成光学线路。其工作效率为 40%。

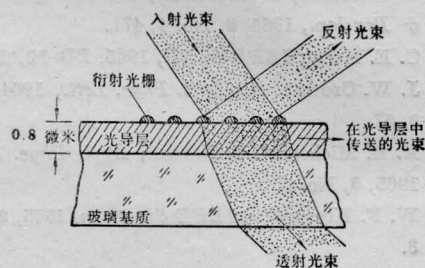


图 17 光栅耦合器结构原理图

显然, 装置在光导层上的衍射光栅是适于平面制造工艺的。

激光计算机及其前景

从十余年前激光问世起, 就引起一批信息科学家的极大兴趣, 使他们把注意力转到光学方面。实验研究表明高速电子计算机的电路正受到内部联接的限制, 由于装置安装和连接线路的电抗效应是限制电路操作速度的主要因素, 即矛盾已不在其有源器件的响应速度上。因而, 除一些实践家在尽快地致力于把激光有效地应用在电子计算机方面外, 人们还寄希望于所谓“光来光去”的“全光计算机”。但是科学家们面对着的实际情况则是既鼓舞而又寒心的, 例如, 对上万道光信息进行并行处理的可能性是很大的, 但它的理论基础则并不象在过去卅年间所构成的固体物理学和电子学那样丰富, 而是十分贫乏的。虽然如本文以上介绍的, 激光将占领所有计算技术的全部领域, 并将在工作性能上发生“量子跳跃”——几个数量级的提高。这里也需提及激光技术在计算机的人—机联系上——计算机的输入、输出设备方面同样是卓有成效的。例如输入设备由原始的机械穿孔及其光电读出器发展为光学直接读入装置^[26]; 输出设备上有激光印刷机^[27]、激光显示等。但是, 作为激光计算机中大量使用的逻辑器件则尚处于物理学的范畴。至于“全光计算机”的整体结构的一些设想也只是管中窥豹, 在其内部联接上都存在许多问题, 或者说至少现在还很难想象一个“全光计算机”的“底板”。此外, 也缺乏象在传统的电子学实验室中, 可利用电压测量法既能方便地获得被研究对象过程的明晰图象、而又不影响对象正常工作的得心应手的工具——比如“激光脉冲示波器”等一类仪器。应提到关于微微秒光学脉冲采样技术的研究已经开始。如果说十余年前, 人们进行激光逻辑作用的基本实

验时,还必须把整个实验装置浸泡在液氮中,那么今天的激光器已经从液氮中“解放”出来了。已报导日本日立公司制成在室温下连续工作的隐埋异质结半导体激光器^[28],其最佳性能是室温连续振荡输出所需的泵浦电流为17毫安,而脉冲工作时仅15毫安。

虽然现在已有的研究成果和实际构成计算机之间还存在不小的距离,但是激光计算机的一系列特点还是十分诱人的。综上所述,可以提出的有以下几点:

1. 速度快:激光逻辑器件具有极快的开关速度,将比集成电路的速度提高三个数量级。而就信号传输方面而言,由于激光的波长甚小于传输线路的线度,将不产生象电子线路中的电抗效应,所以信号传输亦快。

2. 容量大:用具有高分辨率的光敏或热敏层能获得用电磁方法达不到的极高的信息存储密度;而全息技术又开辟了在同一空间存大量不同信息的新途径,从而可构成所谓的“海量存储器”。

3. 可靠性高:器件主要由P-N结构成,没有象电阻、电容及电感等复杂零件,很宜于集成化。充满空间的各种电磁干扰对传输的光信息不能发生作用,这些特点均将使激光计算机更可靠地工作。

4. 功能强:具有海量存储能力和极高运算速度的激光计算机必将与能对二维数据(如进行信号识别、图象处理及雷达信号计值问题等)直接进行实时运算的光学模拟计算机紧密结合而形成一个整体。其模拟部分将是以最近开始研究的所谓“空间线路”为主,将具有语言和语言前的活动的功能。它也将为现代计算机的软件开拓领域。美国林肯实验室曾发表文章,论述计算机的程序通过照相而成三维结构被表现出来。激光也为实现“人工智能”提供出优越的技术基础。自动计算系统的功能将从“怎么做”进入“做什么”的较高级阶段。

结 束 语

科学技术发展史上,人们对新技术的出现往往寄予很大期望,然而其结果则完全是由事物内部的矛盾所决定的。四十年代出现的晶体管,卅年来的应用发展大大超过人们最初的预料;一百年前就有人作出制造一架自动顺序控制计算机的设计,但由于当时较低的工程技术水平而未能实现;而1946年第一台用18000个电子管组成的电子计算机,又由于当时电子管的寿命很短,数学上很容易证明在这个机器中电子管损坏的速度比找到和换掉它还快,但它却确立了一门尖端学科而成功地运转着。

由于激光计算机的特点,因此它要比六十年代出现的微波计算机及低温超导计算机优越得多。可望它将作为再下一代——第五代的计算机出现。当前,我们面临的任务是艰巨的,局面是全新的。

参 考 资 料

- [1] Sumner N. Levine; Principles of Solidstate Microelectronics, 1963, 7.
- [2] 电子通信学会志, 1977, 2月(日文)。
- [3] H. D. Crane; Proc. IRE, 1962, 50, No. 10, 2048.
- [4] W. F. Kosonocky; Proc. Symp. Optical Processing of Information, Washington, D. C., Oct. 23~24, 1962. Baltimore: Spartan Books, Inc., 1963.
- [5] O. A. Reimann; IEEE Spectrum, 2, No. 3, 1965, 181.
- [6] A. B. Fowler; Appl. Phys. Lett., 1963, 3, No. 1, 1~3.
- [7] G. J. Lasher, A. B. Fowler; IBM J. of Resear. & Develop., 1964, 8, No. 4, 471.
- [8] C. E. Kelly; IEEE on ED, 1965, ED-12, No. 1.
- [9] J. W. Crowe et al.; Appl. Phys. Lett., 1964, No. 3, 57.
- [10] A. E. Michel, M. I. Nathan; Appl. Phys. Lett., 1965, 6, No. 6.
- [11] W. F. Kosonocky; IEEE Spectrum, 1965, 2, No. 3.

(下转第49页)

激光器(例如5毫瓦以内的氦-氖激光器)。对于大孔径的透镜来说,斑纹干涉量度法的灵敏度是可以与全息干涉量度术来比较的。但是斑纹法只能对全息法进行补充而不能完全代替。对于三维位移场的测定虽然全息法也能通过一些手段来完成^[12~13],但是它对面内位移分量的确定是很不敏感的,同时测量程序也较复杂。斑纹法却能测定垂直于观察方向上平面的位移分量。如果把两种方法结合起来,可通过象平面全息干涉法在一张底片上同时完成三维位移场的测量^[14]。

从一般的激光斑纹照相到使用现代技术的电视显示的电子信号处理程序来进行干涉测量都是利用激光的斑纹现象。以前作为“噪音”而令人讨厌的激光斑纹现象现在却被人们利用起来了。

参 考 资 料

[1] D. Gabor; *IBM J. Res. Develop.*, 1970, **14**, 509.

- [2] F. D. Adams; *Laser(elektro-Optik)*, 1977, No. 2, 20.
- [3] A. E. Ennos; *Laser Speckle and Related Phenomena*, Editor: Dainty, J. C., p. 203 (1975).
- [4] J. Leendertz; *J. Phys. E.*, 1970, **3**, 214.
- [5] E. Archbold, J. M. Burch *et al.*; *Optics Acta*, 1970, **17**, No. 12, 883.
- [6] H. Tiziani; *Optics Acta*, 1971, **18**, 891.
- [7] E. Archbold, A. E. Ennos; *Optics Acta*, 1972, **19**, No. 4, 253.
- [8] G. Cloud; *Applied Optics*, 1975, **14**, No. 4, 878.
- [9] K. Høgmoen, O. J. Løkberg; *Applied Optics*, 1977, **16**, No. 7, 1869.
- [10] H. M. Pedersen *et al.*; *Opt. Commun.*, 1974, **12**, 421.
- [11] J. W. Gdodman; 《傅里叶光学导论》(中译本), 科学出版社, 1976.
- [12] R. P. Khetan, F. P. Chiang; *Applied Optics*, 1976, **15**, No. 9, 2205.
- [13] K. Shibayama, H. Uchiyama; *Applied Optics*, 1971, **10**, 2150.
- [14] F. D. Adms, G. E. Maddux; *Applied Optics*, 1974, **13**, No. 2, 219.

* * ~~~~~ * * *

(上接第60页)

“激光计算机技术的现在和未来”, 中国科学院图书馆译文, 科技译文资料 49027.

- [12] Roess, D.; *Optische Impulsverstärker mit gesättigten Absorptions filtern*, 9th Nato-Agard Avionics panel Symposium on opto-electronic components and devices.
- [13] Nathan, M. I.; *Bistable Gallium Arsenide Laser*, Solidstate devices Conference, Boulder, Colorado.
- [14] G. J. Lasher; *Mutually quenched injection Lasers as Bistable devices*, *IBM Journal*, September 1964 (S471).
- [15] *Electronics*, 1965, **38**, No. 5, 210.
- [16] W. Kulcke; *Laser-Anwendungen in Datenverarbeitungsanlagen*, *Laser*, 1969, No. 3, 51.
- [17] *Appl. Opt.*, 1965, **4**, No. 8, 883.
- [18] 出国参观考察报告, 美国计算机考查报告, 中国科

学技术情报研究所, 1974年8月。

- [19] J. A. Rajchman; *An Optical Read-Write mass memory*, *Appl. Opt.*, 1970, **9**, 2269.
- [20] R. D. Lohman *et al.*; *Electronics*, 1971, **44**, No. 2., 61.
- [21] *Bell. Lab. Res.*, 1967, **47**, No. 1, 30.
- [22] *Laser & Elektro-Optik*, 1971, **3**, No. 3, 57.
- [23] *Laser & Elektro-Optik*, 1971, **3**, No. 4, 51.
- [24] *Proceedings of 5th Conference on Solidstate devices*, 1973, 119.
- [25] M. L. Dakss *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1970, **16**, No. 12, 523~525.
- [26] *エレメトロニクス*, 1976, **21**, No. 3, 263~265 (日文)。
- [27] 电子计算机动态, 1976, 第12期。
- [28] 国外科技动态, 1976年, 第3期, 33页。