

来沪学术报告之六

数字电子学和计算机部件 组织倾向和问题

(内部资料·注意保存)

上海科学技术情报研究所

一九七三年九月

说 明

美籍中国学者观光团成员罗无念,现任美国普林斯顿大学电工学教授,电气和电子工程师学会成员,并载入美国名人录。罗无念在一九六〇到一九六四年曾任 IBM 公司数据系统新技术发展部主任。

一九七三年六月二十六、二十七日,罗无念在本市作了关于数字电子学和计算机部件组织倾向和问题的报告。这次报告会由华东计算技术研究所杜业祥同志主持,记录整理由华东计算技术研究所、上海计算技术研究所和上海冶金研究所负责。

本记录未经报告人审阅,仅供参考,请勿翻印。

上海科学技术情报研究所

数字电子学和计算机部件

组织倾向和问题

我讲的是关于数字电子学和计算机部件组织倾向和存在问题。近几年来国外集成电路倾向性方面,从各方面和各厂家看,主要不在于性能方面,而在于成本方面。几年来性能只不过提高了1~2倍,而成本却降低了100、1,000甚至10,000倍。这原因是其性能在大部分应用方面已够用了,例如逻辑运算方面,几个毫微秒已够用,在存贮方面,几十个毫微秒已够用。现常常是运算逻辑老在等数据。因此,主要不在于高性能电路,而在于要多,而要用得多,则成本一定要低。成本降低的例子如:一般美国工业界做一块2吋直径的片子只需花5元,可做一千个集成电路,每个50×50密耳,包括光刻、扩散、测试等的费用为45元,好的占25%,则每个为2角美金,里面包括有几百至几千个晶体管。包装每个约6角钱,80%是好的,总括起来每个为1元。里面会有多少晶体管要看是双极性的还是MOS的电路,MOS容量大。但不要忘了,成本虽然这样低,但从器件的线路到设计到制版等往往要花费10~50万美元,因此要做几百万个才能收回成本,即必须大量生产。这就涉及到集成电路的标准化问题,标准化了,许多人用,欢喜用,就可大量生产,成本就低;没有人用或不太用的,不能大量生产,成本就高。这一来,计算机主体更要标准化,系统化。头几部集成电路计算机是尽量少用集成电路,所以既复杂又不系统。现在集成电路便宜了,就可浪费一些器件而使它系统化。集成电路最近的趋势,是片子越来越大,现已可做到300×300密耳。为什么不做得更大?这是因为太大了,其中一个坏了就整个报废,受到成品率的限制。当然线路希望越简单越好,器件希望越小越好。门/外引线的比值已大量增加。焊接是很费钱且很不可靠的。散热问题也要考虑。

现在略为集中一点说,逻辑中用的双极或MOS管子从器件物理来讲,过渡时间差不多,但MOS实际上慢。很简单,在数字电路中,看有多少电流可充电容器,如果有1毫安电流,充1 μ mf,电压改变1伏,时间要1毫微秒,这是与现在的计算机差不多的数据。这电容并非仅是晶体管本身的电容,还包括寄生电容,如联接线带来的电容,它是免不了要引入的,

通常在1微微法到几十微微法,所以晶体管在几个毫微秒内已差不多了。MOS慢的原因,主要是电压改变时电流的改变比双极型大几十倍。通常MOS比双极型慢10~30倍,但面积比双极型小10倍,所以对速度要求不那么快的计算机,应尽量使用MOS器件,高速大型计算机才用双极型的。但MOS要做得快也不难,用CMOS-或做在蓝宝石上叫SOS,可除去很多寄生电容,SOS的速度已跟双极型差不多,虽然目前贵一些,但很快会降下来。

标准化并不容易,不同设计者设计不同用途的机器,用不同的逻辑线路,做成的机器也很不相同。现有些厂家把集成电路做成半标准化,最后的布线先不上去,留待用户选择按所需完成最终布线。还有一种是把逻辑规格化,象存储器一样阵列化,里面触发器存入“0”或“1”可改变整个逻辑功能。但这都未广泛应用,到底那种逻辑应用最广,还要进一步探讨。存储器方面现已简单得多,要高速的用RAM,双极性,1024位已生产,速度为30~50毫微秒;存储量大的用MOS,市面上已出售2,000~4,000位的,速度为200~300毫微秒,此类MOS常用三个晶体管,最近有用1个晶体管的MOS存储器,很受重视,IBM公司已做到1片上含8,000单元,只需用很小的电荷存储在晶体管的电容中,这电容小于 10^{-13} 法拉,现在在电子方面的一个新名词是Fanco。电容上等于有一个开关。开始做不好的原因,主要是连线寄生电容太大,存储电荷小。用差分放大器,很小的电流电压就能放大了。据杜文荣博士讲,IBM公司发表的8,000位还未用上去,原因是想把它扩大2~3倍后才用上去。

ROM(只读不写存储器)也叫快读慢写存储器,通常有两种倾向,一种是在 SiO_2 上加 Si_3N_4 应用在界面处形成的陷阱,但现阶段不易控制,虽然有器件出现,但用得不多,以后了解加深后可作出可写、快读的存储器。在MOS上采用悬浮栅(Floating Gate),已有商品,达到1~2千个电路的集成度,好些人已有使用的经验。在写的时候加上较高的电压,使源漏间击穿,电子或空穴进入悬浮栅,要擦去时,可用X-射线,或紫外线辐照擦去原有存储信息,这一类快读慢写存储器用处很大,因为在计算机中的控制线路中用延迟线路达几千几万,……若用微程序控制则更好。

今天快读快写记忆元件和逻辑电路一样差不多,速度达几个毫微秒。若用MOS做,要速度快,必将提高耗电量,散热则成问题。用动态移位寄存的则耗电小一些,有一个英国人建议的移位线路可以更简单些(图1)。

每个MOS都带一电容C,C中电荷从一位移到下一位,若将上述线路稍为更改一下画成图2,则更可以清楚了;称为BBD(Buckey Brigade)。

器件的构造就简单了,进一步简化就是电荷耦合器件(CCD),没有p-n结,平常栅极下面

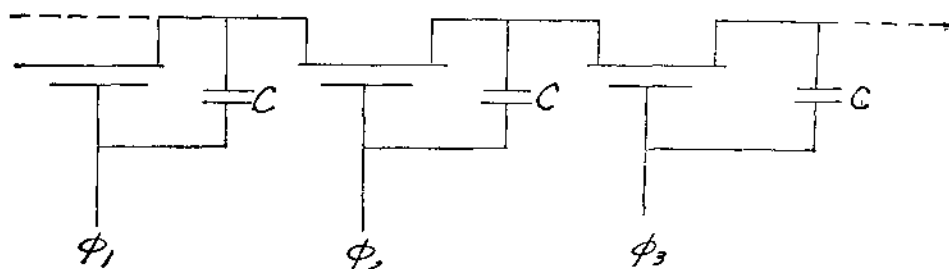


图 1

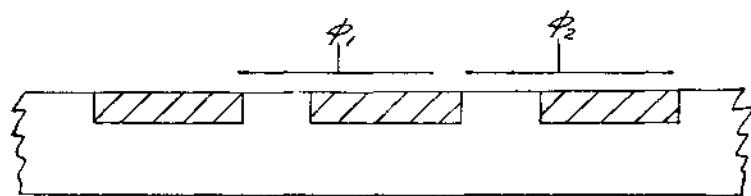


图 2

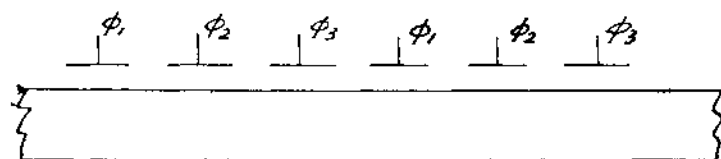


图 3

的阱很深,若加上脉冲可将电荷从一个阱移到另一个阱,可用三相脉冲,例如 12121, 每个 2 旁边都是 1, 很对称, 或 $\begin{matrix} 123 & 123 \\ \rightarrow & \rightarrow \end{matrix}$ 。这样一来电路越来越简单,可靠性越高,从半导体原理上说是很容易理解的。这种器件当然不是随机存贮, (RAM), 要一位一位地移, 但计算机中常常一串一串地拿数据, 是可用的, 但传输效率要高, 不要在中途将讯号吃掉了。最近 Fairchild 公司为了避免表面缺陷, 表面用离子掺杂, 使讯号在表面下面一点传输, 可使传输效率达到 7 个 9, 这已是事实。

CCD 还有个好处是对光有直接反应, 感光一下, 电荷在各井中的分布就不一样, 可直接将图象变成电荷, 象电视照相机一样。

在这方面要提一提磁泡, 磁泡比 CCD 出现早, 开始用正铁氧化物, 象磁芯一样, 在表面极化, 也发现无定型磁泡材料, 1 平方吋有一万个存贮点, 但运动速度慢, 只有 100~200 千周, 有人可做到 1 兆周, 但有困难, 这一技术开始感到很好。CCD 密度与之相仿, 但已达 100~200 兆周, 主要是半导体技术已达到很稳定的地步, 其他技术很难与之相竞争, 它是大道, 磁泡则不过是边路而已, 很难成大道。

下面我们从存贮和逻辑方面看计算机的发展趋向。过去, 在一片上做一台计算机

(Compulir on a Chip)是个梦,现在虽然尚未成熟,但小一点如计算器已大量生产, TI 公司做的只有一个芯片,包含 6,000 个 MOS 管子,速度慢一点,但人按按钮,速度慢不要紧,因为是一位一位地算,还是很快的。这一个芯片只有几元钱,其余是显示,按钮的钱,国外做几千个晶体管在一个芯片上已成普通现象,更快,更多的尚需发展,而大的计算机不能将所有电路放在一片上,要几片,这样片间的联线长,寄生电容比片内大,所以在大型计算机中还是用小规模。若计算机中用标准的功能块,大量生产后成本可以很低,也很容易改变其组织结构,你要横的组合也行,直的组合也行。

还有很多实用方面,如自动控制技术,数据收集初步处理后再送到计算机中的办法,叫做微处理机(micro processor),这种机器不能很大,用 1 片到 n 片,一片为逻辑,一片为 RAM 一片为 ROM,应用的地方很多,如机器的输入输出器件。就可以不一定样样去麻烦主机,这是个发展方向,先将数据处理好了再进入主机。

电路越来越复杂,测试就很困难,有个故事,IBM 公司曾委托 TI 公司做一个四百个栅的片子,要求测所有的排列组合,但不知如何测好,测好了也不知好坏。若用微程序控制,每个器件如何控制便很清楚了,这要有快速存贮器,以前因技术关系,现在已可做很大很快的存贮器了。

最后,逻辑方面已经很大,但存贮还不够快,不够大,要几十万存贮点才够,出现了宝塔形的存贮体,以前用软设备,现用自动存贮,从宝塔的这一层到另一层列一个表,很容易找到,国外有 Successive memory (连续存贮器)或 Coruplox memory (复合存贮器)从内容找地址,线路与工艺技术已很难分开了。

问:请罗教授谈谈对第五代计算机的一些看法。

答:现在的计算机主要还是用小规模集成电路,LSI 只用了少部分,所以还只不过是三代半,至于第五代怎么样,还很难说。但我想,到那时可能每个人口袋里都有几个。如果要预测,最好预测得长远一些,因为到那时我已经不在了。

说到第五代,可能有几种做法:

(1) 仿照人的头脑做。但头脑是怎么个工作法?越研究就越不了解,分析头脑中有多少单位,越看得仔细就越多。看来这不是个方向。

(2) 可能从半导体转向别的技术。例如磁。但看来它的速度太慢,除非有什么重大突破,否则可能性不大。另一个可能性较大的,是超导体。如果液氮的价钱比做啤酒便宜,那时超导的应用将十分广泛。从前超导速度慢,是因为在达到超导之前电阻仍太大,近年来由

于诸如隧道效应等现象的发现和进展,在超导与不超导之间的转换速度已加快,很有希望。超导体的好处是简单,可用均一材料做电路,步骤少,可靠性高。

超导体不用拉单晶,电路可作小也可作大。

我想将来的电路一定是平面的不是立体的。从电子管到晶体管,象平面。到超导,有两层,也象平面。三度空间难做。

问:第四代电子计算机除应用 LSI 外,系统设计上有那些特点?

答:中央处理机简单化,可能要浪费一些元件,使整机能多道程序多重处理。是造大机器,很多人用、由机器调节优先权呢,还是用别的办法。有人说现在元件便宜了,集中造大机器不如多分开来多造些小机器,分给很多人使用。看来要跟着应用走,这比以前认识深了。过去 IBM 公司造出来的计算机,你要买就买,不买就算,现在看来要更适于用户使用。

还有,设计费很大。现注意到机器不一定要太多的效率,因为机器多了,机器也简单了,程序语言也简单了。编译程序将尽量应用硬件,多方面尽量用硬件代替人要做的事情。但这如果跟搞软件的人讲,他们可能认为软件要越来越发展,越来越复杂,而搞硬件的人会对他们说你已经较复杂了,再复杂对付不了。

总之,以后要更简单化,分成一块块搭起来,使大多数人都会搭,这是个大道。

问:(1) 流水线与寄存器快速可靠工作的联系如何?

(2) 请评述一下寄存器方面的问题。

答:(1) 流水与同步非同一个问题,这个问题我可能答非所问,可以再详细座谈。

(2) 要看作用如何,大部分用 J-K 触发器。一般说来差别都不大。以前种类那么多,无非是想省钱, J-K 的可靠性通用性都较高。至于用 TTL 还是 ECL 要看使用要求。

问:请介绍一下 TTL 和 ECL 电路应用情况?

答: ECL 电路速度快,为 1~2 毫微秒,但功耗大。速度快是因为由两个晶体管对称组成恒流源的缘故,对称的东西速度快。ECL 电路用在要求速度高的机器上。但是这个机器不是全用 ECL,只有在要求速度最高部分使用,其余部分用 TTL 电路。

TTL 电路用得最广,速度一般在 5~10 毫微秒。ECL 和 TTL 速度差别不大,例如 ECL 电路用在美国天气预报的计算机上,气象数据多,要求算得快,算得精确。

问: IBM 公司先进固体逻辑技术请介绍一下?

答:当我在 IBM 公司担任发展部经理时,这个技术用得很多,在晶体管芯片上,用铜球等焊

料,倒压在有电阻的氧化铝陶瓷上,封装起来,这就是“固体逻辑技术”即 SLT,现在已经根本不用了。

梁式引线:

这个技术是贝尔实验室先搞出来的,美国象莫托沃拉等大公司都没有搞,太复杂,成本太贵了,可靠性可能要好些。

问: 请谈谈计算机的新型元件的发展?

答: 五年以后 MOS 代替双极型电路, SOS 的互补电路, 寄生电容小(几乎没有)蓝宝石是绝缘的, 因此速度可以做得很快, 已有 256 位, CMOS 的 SOS 的产品整个存取周期为 35 毫微秒。速度不比 TTL 的慢。

SOS 是由 RCA 公司开始做的, 在 RCA 公司工作过的一个人, 另外开了一个小工厂, 专门做 SOS 电路, 由于生产多了, 成本降低了。我看, 这个厂会发展起来的, 厂名唤作“Tnselek”。

SOS 电路是在蓝宝石上的 Si 外延层做器件的, 器件做不好, 还可以把硅去掉, 使蓝宝石再用, 而一般集成电路却不能这样。

美国市场上, 已有 MOS 的手表出售, 每只一百多美元。MOS 做计算器, 石英做振荡器, 液晶显示, 而且走得很正确。十年以后, MOS 手表可以代替现有手表, 成本只要 3~5 美元, 当然售出还要贵一点。

CCD 技术已经成熟了, 密度做得很高, 已有样品, 可在 5 兆周下工作, 这很有前途的。

问: 美国搞那些元件的基本研究?

答: a. 搞表面态的研究, 萧克等没有做出 MOS 器件来, 因那时表面态没有解决。正在研究氧化层中电子、空穴和陷阱的作用。用 CV 曲线、电子扫描等方法进行研究。

b. 电子空穴传输理论的研究, 这些都不怎么清楚。

c. 光与物质的相互作用。

d. 搞氧化层等介质的研究。

线路方面并没有什么特别的改变。

问: 在美国, 有文章发表, 某公司做出 2.18 毫微秒的电路, 后面的 0.18 是什么意思?

答: 美国的专利很多, 我也有不少专利, 但有用的很少, 95% 以上经济上没有好处。RCA 公司靠这 5% 的专利出售维持, 而 RCA 公司 95% 的生产, 只用自己 5% 的专利。

问: 提高计算机的稳定性抗干扰的方法怎样?

答：这方面美国早已解决了，没有什么问题。

在纽约地下铁道一个计算机，那里干扰很大，后来采用了高电压集成电路，提高了抗干扰性能，问题就解决了。

问：光笔的精度较低，使用范围如何？

答：人机对话，光笔用得很普遍，小机器配上光笔，给学生算题，使用方便，制版修改图形很方便。凡人眼看得出的精度，就能使用光笔，我想，小汽车的齿轮设计不能用光笔吧！

问：CCD 技术是否已经成熟，要代替大容量存贮办法如何？

答：从技术角度讲已经完全成熟，目前没有应用，主要是因为成本问题没有解决。目前速度是 5 兆赫（从大容量外存角度看，已经是很快了）。解决的途径：提高密度（目前密度 $10^6/\text{吋}^2$ ），扩大生产、降低成本。

问：磁性材料在计算机中的应用前景如何？

答：在逻辑电路中肯定不能用，在存贮器中磁泡看来不行，因为比不过别的，至于其它磁性材料，现在看不出什么可以用的东西。我自己就搞了一个全磁性的逻辑部件，可是不能用，因为有更好的东西可以用。

磁芯是个很好的东西，因为它可靠，它之所以可靠，是因为磁芯是一个个地测量，把坏的都筛掉了。

问：最近看见报道，说是 IBM 公司已设计出全磁泡的计算机，但是速度太慢，这件事如何理解？

答：说这个话的人是不负责任，也可能是指能够设计出这种计算机。

问：照成本观点看，磁带是否很难被别的东西代替掉？

答：是这样，因为它太便宜了。

问：超导存贮器，据罗先生讲，在第五代计算机中应用是有可能的，但目前应用不可能，那么在研究时，如何处理比较好？

答：超导研究目前主要是研究理论，即研究为什么有这个现象，而不是研究如何应用。因为理论的研究本来不是一定马上能用得上的。超导存贮器，在第五代是有可能用的，当然这只是一种可能。

如果临界温度能提高，就能广泛应用。

目前应用方面主要是悬浮列车、直流输电、线性马达等。

问：光存贮器的评价如何？

答：主要的问题是没有材料，目前，只是激光打在胶片上，揩掉时全部信息都没有了。

问：光集成电路和光计算机前景如何？

答：以前在电路中遇到的接线很多，就觉得接线是很讨厌的问题。光的器件没有连线，可是没有连线本身也是个麻烦的事情。另外，光是个高能粒子，要关掉它不象电那样，装个开关就行了。在逻辑上也是会遇到困难的。

最后我还谈谈关于计算机教育的问题：

计算机是从工业发展来的，我们学校教计算机过去是按步就班的教，逻辑代数、逻辑设计、程序设计、各种电路、语言、外围设备……。学生还没有学多少时间，就问，要学这些东西干嘛？学的兴趣也不大。现在倒过来教，先讲计算机的概况，组织和应用；接着讲每一部分硬件要些什么东西，如寄存器等概念；再讲一些设计。教的时候，从大讲到小、理论跟着实际跑，这样学生比较容易懂，对理论的兴趣也提高了。

在教学中，讲部件是这样的，比如讲“状态”，先讲简单的“状态”，学生一听觉得很便当，然后示范，打开一个部件一看，原来不是学生想的那样，这时就让他们自己装小部件，自己去弄懂它，所以学得很快，学生学2个月，就能装自动卖香烟自动找零钱的机器，学生兴趣很高。有的还带回家去装，这样原来对理论没有兴趣的学生也可以学习计算机。

另外，学校有小计算机，学生可以自己去算题目练习，因而也提高了学生学习的兴趣。