

767015

兰菱集成电路丛书(一)

高速CMOS集成电路

2
37

常州半导体厂
集成电路

常州半导体厂

高速CMOS集成电路是八十年代初开发的一种性能优异的集成电路，其最高工作频率可达50兆赫，与LSTTL相仿，静态功耗小于1微瓦，比LSTTL小1000倍。高速CMOS电路的外引线排列和逻辑功能均与同序号的TTL电路完全相同，可在高速低功耗系统中直接取代LSTTL电路，也可取代常规CMOS电路。国际上各大集成电路制造公司都投入相当大的力量来开发高速CMOS电路，在市场上占有越来越大的比重。国内也开始试制生产这种电路。

常州半导体厂是国内开发硅栅CMOS电路较早的厂家，一直致力于CMOS集成电路高速化的研究。近年来已试制成功並小批量生产与标准TTL集成电路同等速度的器件，称为LCH000系列，並正在从美国引进生产最高工作频率为50兆赫的54/74HC系列高速CMOS电路的生产设备和技术。

为了满足广大集成电路用户、科研单位、大专院校和半导体器件生产单位的需要，我们特请我厂张培银同志将其在电子工业部销售局组织的在北京、长春、哈尔滨、大庆和四川广汉等地举办的集成电路讲座中有关高速CMOS电路部分讲稿整理，编写了这本小册子。不当之处，恳请读者不吝指正。

常州半导体厂

1984.12.

目 录

第一章	高速CMOS电路的发展概况	(1)
第二章	高速CMOS电路工艺简介	(4)
	一、金属栅 CMOS 工艺	(4)
	二、硅栅 CMOS 工艺	(6)
	三、硅栅工艺的优点	(7)
第三章	高速CMOS集成电路与标准CMOS、LSTTL、 ALSTTL、STTL电路的性能比较	(9)
	一、交流特性	(10)
	二、功耗	(13)
	三、输入电压特性和噪声容限	(15)
	四、输入电流	(18)
	五、电源电压范围	(18)
	六、输出驱动电流	(18)
	七、工作温度范围	(20)
第四章	高速CMOS电路的功耗	(22)
	一、静态功耗	(22)
	二、动态功耗	(23)
	三、负载电容的瞬变功耗	(24)
	四、内部电容的瞬变功耗	(25)
	五、开关时的电流尖峰	(26)
	六、HCMOS与LSTTL的比较	(28)
	七、最大的功耗极限	(29)
第五章	高速CMOS电路的直流特性	(30)

一、缓冲的 CMOS 逻辑系列	(31)
二、高速 CMOS 的输入电压特性	(32)
三、高速 CMOS 的输入电流和输入电容	(33)
四、54/74HC 的电源电压和静态电流	(34)
五、输出特性	(35)
六、绝对最大极限值	(39)
七、54/74HC 的输入保护	(41)
第六章 高速 CMOS 电路的交流特性	(43)
一、性能规范	(43)
二、电源电压对交流特性的影响	(46)
三、速度随负载电容的变化	(48)
四、速度随温度的变化	(50)
五、输出的上升时间、下降时间、建立时间和 维持时间以及脉冲宽度性能的变化	(51)
六、输入的上升时间和下降时间	(52)
七、各种逻辑电路的性能比较	(52)
第七章 高速 CMOS 电路的电源电压范围和温度 性能	(54)
一、最高工作电源电压和最低工作电源电压	(54)
二、最高工作温度和最低工作温度	(55)
第八章 高速 CMOS 电路与其他类型集成电路和分 立器件的接口	(56)
一、TTL 与 54/74HC 之间的接口	(56)
二、54/74HC 与 NMOS/HMOS 之间的接口	(61)
三、高速 CMOS 与 CD4000 标准 CMOS 电路和 CMOS 大规模集成电路的接口	(62)

四、54/74HC 与 ECL 的接口·····	(63)
五、需要电平转移的接口电路·····	(64)
六、与高电压工业控制电路的接口·····	(66)
第九章 高速 CMOS 电路的应用 ·····	(68)
一、关于 HCMOS 直接取代 TTL 的问题·····	(68)
二、关于 HCMOS 代替标准 CMOS 的问题·····	(70)
三、HCMOS 的使用注意事项·····	(71)
附录一 国内、外高速 CMOS 集成电路型号名称一 览表和功能检索表 ·····	(72)
一、第一代高速 CMOS 电路 TC40H 系列型号 名称一览表·····	(72)
二、第二代高速 CMOS 电路 54/74HC 系列型 号名称一览表·····	(74)
三、兰菱牌 LCH000 系列高速 CMOS 电路型号 名称一览表·····	(80)
四、兰菱牌 74HC 系列型号名称一览表·····	(81)
五、54/74HC 系列电路功能检索表·····	(83)
六、LCH000 系列高速 CMOS 集成电路功能检 索表·····	(88)
附录二 国内、外高速 CMOS 集成电路的参数规 范简介 ·····	(90)
一、RCA 公司的 54/74HC 系列电路参数规范 简介·····	(91)
二、莫托洛拉公司的 54/74HC 系列电路参数 规范简介·····	(94)
三、LCH000 系列电路参数规范简介·····	(96)

第一章 高速CMOS电路发展概况

CMOS 集成电路结构是在1963年国际固体电路会议上首先提出来的。1968年，美国RCA公司首先将 CMOS 集成电路商品化，出现CD4000系列的产品。自从商品化的产品进入市场以后，其产值逐年增加，品种不断扩充，应用领域越来越广。特别是进入八十年代以来，高速CMOS集成电路的工作速度已达到了LSTTL电路的水平。另一方面，芯片的功耗问题使NMOS和HMOS在超大规模集成电路的领域遇到了越来越大的困难。今天人们对CMOS集成电路的认识已经不再是象计算器和电子手表等低速低功耗应用领域的霸主，CMOS集成电路代表高速低功耗系统中器件的主要发展方向，而且也是目前实现高性能的超大规模集成电路的唯一手段。

在通用数字逻辑电路领域，有TTL、CMOS、ECL和HTL等电路结构。其中TTL和CMOS是两种产量大、使用而广的主流产品。这两大类产品在互相激烈竞争中都得到了迅速的发展。对TTL电路，自1963年美国Texas仪器公司的54/74标准系列投入市场以来，主要有两个发展方向。一方面是进一步提高工作速度，相继开发了H系列、S系列和AS系列产品。另一方面是在兼顾工作速度的前提下降低功耗，相继开发了L系列、LS系列和ALS系列产品。在这些产品中，尤其以LSTTL系列的市场占有率最高。CMOS集成电路的主要优点是低功耗和高抗干扰性。在七十年代。由于

CMOS在工作速度方面与TTL存在着一定的差距，一般只能应用在5兆赫以下的低速系统之中。早期的CMOS电路都是采用铝栅的工艺。不久，美国仙童公司、荷兰菲列浦公司等厂商用硅栅工艺来制作4000系列电路，其典型代表为HE4000系列电路。HE4000系列硅栅电路比CD4000系列铝栅电路工作速度提高了一倍。硅栅工艺在开发NMOS、HMOS存储器 and 微处理器等大规模集成电路过程中变得十分成熟，自然很快地被应用到CMOS器件上来。1979年，日本东芝公司发表了第一代高速CMOS电路，称为TC40H系列。这种电路保留了标准CMOS电路的低功耗和高抗干扰性特点，但触发器的工作频率达到20兆赫，即达到了TTL标准系列的水平。由于短沟道技术和全离子注入技术的发展，1981~1982年各公司相继发表了称为54/74HC系列的第二代高速CMOS集成电路的发售计划。在日本，除了东芝公司以外，松下公司和夏普公司紧紧跟上。美国的莫托洛拉公司和国家半导体公司联合开发高速CMOS电路，RCA则与菲列浦合作共同推出性能更好的高速CMOS集成电路。连对CMOS比较保守的Texas仪器公司也开始加入这个行列。54/74HC系列电路的工作频率可达50兆赫，达到了LSTTL电路的水平，而其静态功耗则只有LSTTL的千分之一或更低。

目前，54/74HC系列的品种已发展到100多种。共有54/74HC、54/74HCT和54/74HCU三个子系列。各厂家的参数规范大同小异，并逐步趋向一致。HC系列的工作电源电压为2~6伏，其输入电平特性与标准CMOS相仿。HCT系列中的最后一个T字表示与TTL兼容，其输入电平特性则

与TTL相同，工作电源电压为5伏 \pm 10%。HC系列和HCT系列的输出都是缓冲的并具有对称的特性。HCU系列中的最后一个U字表示非缓冲。这个非缓冲系列实际上只有很少数的品种。如HCU04和HC04虽然都是六反相器，但前者采用单级的非缓冲结构，后者采用三级反相器结构。非缓冲的电路主要用于构成RC振荡器或晶体振荡器、可变阈值触发器以及其他线性工作的电路。

不论是TC40H系列还是54/74HC系列，其外引线排列和逻辑功能都与同序号的TTL电路相同。所以，从外部来看，高速CMOS电路与TTL类似。此外，还有一些序号与CD4000系列相同的电路，其外引线排列和逻辑功能与同序号的标准CMOS相同。当然，它具有显著高的开关速度。

我国的CMOS集成电路从七十年代末开始有了快速的发展。上海无线电十四厂是最早批量生产CMOS集成电路的厂家，在品种和产量上目前国内仍据首位。上海元件五厂，北京器件三厂，南昌746厂和北京878厂的标准CMOS电路亦各具特色。正如同国外的情况一样，大部分生产厂都用铝栅工艺来制作标准CMOS电路，常州半导体厂和北京器件五厂则用硅栅工艺来制作标准CMOS电路。其频率性能和低电源电压下的电参数比铝栅电路优越。近年来，生产CMOS电路的主要厂家都在努力开发高速CMOS电路。上海元件五厂和上无14厂高速CMOS的电参数已达到较高的水平。常州半导体厂利用硅栅CMOS工艺开发较早的优势，目前已小批量生产在5伏电源电压下最高工作频率为20兆赫的LCH000系列电路，並正在从美国引进生产54/74HC系列的设备和技术。我们可以相信，在不久的将来，高速CMOS电

路将在我国集成电路市场上占有越来越重要的地位。

第二章 高速CMOS电路工艺简介

54/74HC电路用一种先进的等平面硅栅工艺实现高的开关速度。这是一种单层多晶硅、单层金属和有氧化物隔离晶体管的P阱工艺。为什么硅栅晶体管的开关速度比金属栅晶体管快呢？其原因一方面与集成电路内部的寄生电容有关，另一方面与晶体管的增益有关。MOS晶体管的开关速度依赖于对内部寄生电容和外部负载电容的充电和放电所需的时间。因此，开关速度实际上与晶体管本身的性能有关。晶体管的增益代表一个晶体管对一个电容器的充电和放电的能力。为了提高速度，必须减小寄生电容和增大晶体管的增益。用硅栅工艺，既可以减小寄生电容，又可以增大晶体管的增益，从而实现高的开关速度。为了说明硅栅CMOS为什么会具有上述的优点，让我们来比较一下硅栅CMOS与金属栅CMOS的工艺制造过程。

一、金属栅CMOS工艺

图1是带有保护环结构的金属栅CMOS的剖面示意图。为了防止不同晶体管源与漏之间的寄生漏电，对金属栅工艺必须采用如图所示的保护环结构。原始材料是晶向为(100)的N型单晶硅。经抛光后的硅片放入高温炉热生长一层二氧化硅。这层二氧化硅既作为以后某些工艺步骤的掩膜，又作为介质绝缘体。然后用离子注入的办法制作一个低掺杂的

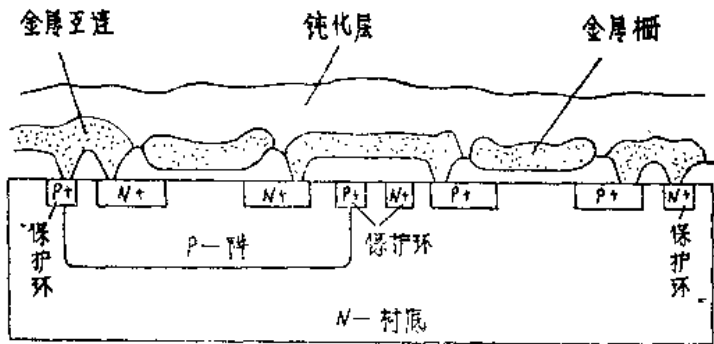


图1.金属栅CMOS的剖面示意图

P-阱区。在离子注入之前，用光刻的办法将P-阱区上面的二氧化硅去掉。这样，未去除的厚二氧化硅可以阻挡离子注入，实现定域注入的目的。然后，去除所有的氧化层，并重新生长新的氧化层。用光刻的办法在P₊源区、漏区和保护环区的氧化层处腐蚀出窗口，并在其上进行硼扩散。P₊区扩散以后，生长附加的氧化层将为硼扩散而开出的窗口填满。下一个步骤是在N₊源区、漏区和保护环区的氧化层处腐蚀出窗口，并在其上进行磷扩散。接着再一次生长氧化层。

在这些步骤以后，再一次用光刻的方法在氧化层上开出窗孔。这些窗孔确定接触区和晶体管栅区的区域。在这些区域上热生长一个薄的氧化层。这是一个十分关键的步骤，因为栅氧化层的质量好坏对MOS晶体管的性能有重大影响。将这个栅区与源、漏区对准也是十分关键的步骤。从图1可以看到，栅区的尺寸比源、漏之间的间距要大一些。在以后讨论中还要讲到，这将会产生附加的交叠电容。这种电容对

器件的频率性能有很大的影响。

然后开出晶体管漏区和源区的接触窗孔，再进行互连金属和栅金属的淀积。再用光刻办法刻出互连金属和栅金属的图形，並在炉管中加温使之合金化。最后一个步骤是在整个芯片表面淀积一层钝化膜和在键合压点处将钝化膜除去。

二、硅栅CMOS工艺

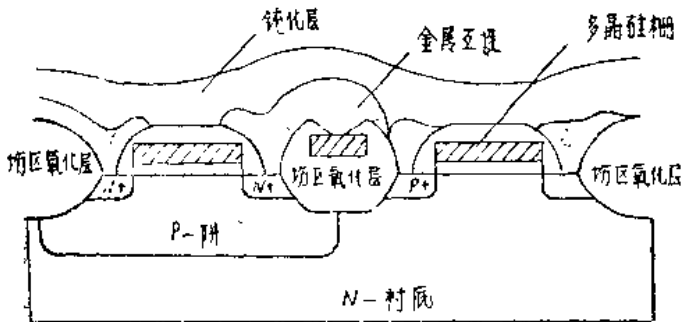


图2.硅栅CMOS的剖面示意图

图2是硅栅CMOS的剖面示意图。硅栅CMOS的头两步工艺是与金属栅CMOS一样的，即在N型衬底上用离子注入的办法得到一个P-阱。然后，去除原始的氧化层，热生长一层新的氧化层，称为衬垫氧化层。接着在整个硅片表面淀积一层氮化硅。氮化硅可以阻挡在它复盖区域的氧化物的生长。用等离子刻蚀的办法在将要生长场区氧化物的区域把氮化硅腐蚀掉，接着在高温炉管中生长场区氧化物。场区氧化物是一个十分厚的氧化层，除晶体管区域以外，到处都生长场区氧化物。当在硅中生长氧化物时，将消耗下面的硅衬底。

硅与周围的氧起化学反应合成二氧化硅。生长这样厚的氧化层使氧化物陷入到硅衬底表面以下相当大的距离。陷入的场区氧化物消除了保护环扩散的必要性，因为电流不可能透过场区氧化物流动。这样，每个晶体管与其他晶体管是完全隔离的。

下一个步骤是腐蚀掉除场区氧化物以外地方的氮化硅和二氧化硅，接着进行栅氧化和淀积多晶硅。多晶硅既可作为栅区，又可作为互连的第二个层次。然后，对多晶硅进行腐蚀，保留下来的多晶硅将作为栅（如果它下面是栅氧化层）和互连（如果它下面是场区氧化层）。接着分别进行硼离子注入和磷离子注入。多晶硅本身和场区氧化物可作为离子注入的掩膜。因此，源漏注入将与多晶硅栅自动对准，人们将这个工艺称为自对准硅栅工艺。

接着再进行在氧化物的绝缘层上开引线孔的工艺步骤，金属可以连接到栅上和多晶硅上，也可以连接到源漏注入区。然后在整个硅片上淀积一层金属，对金属进行腐蚀以产生所希望的相互连接。最后，与金属栅情况一样，在整个硅片上再淀积一层氧化物绝缘层和在键合压点处将钝化膜除去。

三、硅栅工艺的优点

有三个主要的方法可以减小硅栅工艺的寄生电容。它们是：陷入的场区氧化物，小的栅交迭电容和浅的结深。

对金属栅工艺， N_+ 和 P_+ 源漏区以及保护环区有两种电容，即周界电容和面积电容。这些电容与 P_+ 区和 N_- 衬底之间的二极管PN结以及 N_+ 区和 P_- 阱之间的二极管PN结有关。硅栅CMOS的线宽小，结深浅，从而使寄生的周界和区

域二极管的尺寸减小。因为电容正比于二极管的面积，二极管的面积减小可以显著地减小寄生电容。

另一种不希望有的电容是栅与源、漏区的交迭电容。金属栅CMOS的交迭电容显著地大于硅栅CMOS。这是由于金属栅宽必须大于沟道的长度，因为光刻对准有对准容差，在硅栅CMOS的情况，因为栅本身作为源、漏离子注入的掩膜，不存在对准误差问题，于是显著地减小了交迭电容。

为什么多晶硅栅能增加MOS场效应晶体管的增益呢？多晶硅可以比金属腐蚀出更细的线宽度，可以制造出更短的栅长度的晶体管。描述MOS场效应晶体管增益的方程为：

$$I = \frac{\beta \cdot W}{2 \cdot L} \cdot (V_G - V_T)$$

其中I为电流， β 是一个常数（它与载流子迁移率及栅氧化层厚度有关），W和L分别是栅的宽度和长度， V_G 为栅电压， V_T 为阈值电压。从方程可以看出，栅长度的减小将引起电流驱动能力的增大。这将使晶体管对电容充电得更快，从而增大了晶体管的增益。此外，硅栅CMOS工艺的栅氧化层的厚度小于金属栅CMOS。薄的栅氧化层使方程中的 β 常数增大，进一步增大了晶体管的增益。最后，硅栅CMOS晶体管的阈值电压（开启电压）较小，根据方程，在同样的栅压 V_G 下，由于 $V_G - V_T$ 增大会使电流增大。因此，低阈值电压有利于提高晶体管的增益。

硅栅CMOS工艺还有一个更重要的优点：多晶硅可以作为一个附加的互连层。这样，互连层就有三个层次：金属、多晶硅和 P^+ 、 N^+ 离子注入区。这三个互连层有助于减小芯片的面积，因为更多的芯片区域可用来作为互连使用。

将所有这些优点综合起来，其结果是沟道长度为3.5微米的硅栅CMOS器件可以达到LSTTL器件的开关速度。理论分析还可以证明，传输延迟时间大体上正比于沟道长度的平方。进一步缩短沟道长度和减薄栅氧化层厚度将使CMOS器件的频率性能提高。沟道长度从 4μ 缩短为 2μ ，传输时间变为原来的四分之一，即可以达到200兆赫的最高工作频率。由于MOS器件是依靠多数载流子工作的，没有少数载流子的存贮问题，器件的频率并不存在理论上的极限，只要工艺上能做到更小的尺寸，几百兆赫工作的超高速CMOS完全是有希望的。目前，国外实验室正在研究沟道长度小于 2μ 的超高速CMOS电路，我们期望有一天CMOS能在开关速度方面向ECL电路挑战。

第三章 高速CMOS电路与标准 CMOS、LSTTL、ALSTTL STTL电路的性能比较

日本东芝公司的第一代高速CMOS电路TC40H系列工作电源电压范围为2~8伏。 $V_{cc} = 5$ 伏， $C_L = 15$ PF时，门电路的典型传输延迟时间为10~15nS，触发器的最高时钟典型值为20兆赫，其频率性能相当于中速TTL电路的水平。这种电路输出驱动电流能力较小，高电平输出电流的最小值为-0.44mA，低电平输出电流的最小值为1.1mA。由于这种电路的负载能力较差，频率性能也不太理想，目前已

被54/74HC系列取代，只有东芝公司还有一些保留产品，

高速CMOS集成电路54/74HC系列的开关速度比标准铝栅CMOS电路CD4000系列提高一个数量级，与LSTTL电路基本相仿，比STTL和ALSTTL电路慢一倍左右。54/74HC系列电路具有标准铝栅CMOS电路低功耗的优点。静态功耗或低频下的动态功耗在微瓦以下。

下面对几种电路的电性能进行对比，详细的分析将在另外章节中叙述。

一、交流特性

54/74HC系列电路的工传速度与LSTTL相仿，比CD

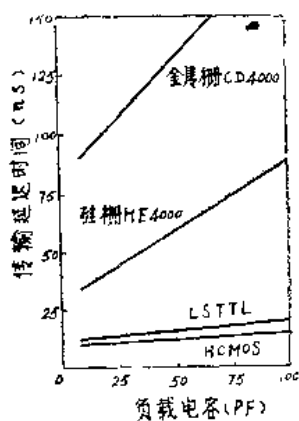


图3 CD4000, HE4000, LSTTL和HCMOS的
传输延迟时间随负载电容的变化

4000快8~10倍。表1给出了HCMOS与几种双极型电路的交流参数比较。从表1可以看出，HCMOS的门延迟时间与LSTTL基本相同。ALSTTL比HCMOS快2~3倍，STTL比HCMOS快2倍。触发器和计数器的工作速度也服

从同样的规律。

表1 HCMOS、LSTTL、STTL和ALSTTL的典型
的交流性能比较

门	LSTTL	ALSTTL	STTL	HCMOS	单位
74××00, 传输延迟时间	8	5	4	8	ns
74××04, 传输延迟时间	8	4	3	8	ns
组合逻辑, 中规模					
74××139 传输延迟时间					
选择	25	8	8	25	ns
使能	21	8	7	20	ns
74××151 传输延迟时间					
地址	27	8	12	26	ns
选通	26	7	12	17	ns
74××240 传输延迟时间	12	3	5	10	ns
使能/使不能时间	20	7	10	7	ns
时序逻辑, 中规模					
74××174 传输延迟时间	20	7	13	18	ns
工作频率	40	50	100	50	MHZ
74××374 传输延迟时间	19	7	11	16	ns
使能/使不能时间	21	9	11	17	ns
工作频率	50	50	100	50	MHZ

HCMOS的传输延迟时间随负载电容的变化曲线与LSTTL非常相似。图3表示54/74HC系列HCMOS电路与LSTTL、硅栅标准CMOS HE4000和铝栅标准CMOS CD4000的传输延迟时间随负载电容的变化。从图3可以看出，HCMOS的工作速度不仅比铝栅和硅栅标准CMOS快得多，而且也比LSTTL快。曲线的斜率表示负载能力，它实际上是输出驱动电流能力大小的反映。斜率越大，负载能力越差，输出驱动电流也较小。从图3可以看出，HCMOS和LSTTL的负载能力比标准CMOS强得多。

图4表示54/74HC与几种双极型电路的传输延迟时间随负载电容的变化曲线。从图4可以看出，HCMOS具有与LSTTL基本上相同的开关速度和同样的延迟时间随负载的变化规律，但比ALSTTL和STTL慢。图4中曲线的斜率表示速度随负载电容的变化率。它与具体逻辑门的输出阻抗有关。HCMOS与LSTTL的速度随负载的变化率相似，而ALSTTL和STTL具有略低的变化率。

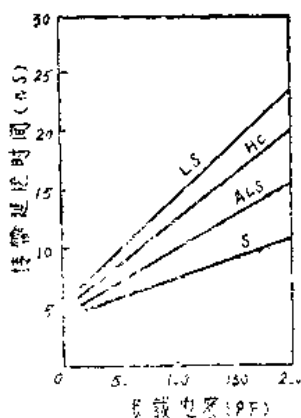


图4 HC、LS、ALS、S系列与非门电路的传输延迟时间随负载电容变化