

国外集成电路 及其在机械工业中的应用

上海电器科学研究所编

第一机械工业部机械研究院机电研究所

一九七六年三月

毛主席语录

什么“三项指示为纲”，安定团结不是不要阶级斗争，阶级斗争是纲，其余都是目。

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

打破洋框框，走自己工业发展的道路。

出 版 说 明

伟大领袖毛主席亲自发动和领导的反击右倾翻案风的斗争正在胜利展开。广大革命职工，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，抓革命，促生产，形势一片大好。

为了配合我国机电工业的发展，遵照毛主席关于“洋为中用”和“知彼知己，百战不殆”的教导，上海电器科学研究所搜集了近几年来国外期刊上关于集成电路及其在机电工业中应用的一些资料，并加以整理，供有关同志参考。

对于这本资料，我们要遵照毛主席关于“对于外国文化，……应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化”的伟大教导，批判地吸收其中有益的东西。

由于我们学习马列主义、毛主席著作不够，加上限于业务水平与时间仓卒，在编写方面难免有错误和不当之处，诚恳地希望批评指正。

本资料汇编过程中，曾得到兰字826部队、上海冶金研究所同志的帮助，在此表示衷心感谢。

一机部机械研究院机电研究所

一九七六年三月

目 录

一、引言	1
二、集成电路的分类和发展情况	1
1. 数字集成电路	1
1) 双极型数字集成电路	1
(1) 二极管—晶体管逻辑电路 (DTL)	2
(2) 晶体管—晶体管逻辑电路 (TTL)	5
(3) 高阈值逻辑电路 (HTL)	8
(4) 双极型数字电路的发展趋向	9
2) 金属—氧化物—半导体 (MOS) 型数字集成电路	9
(1) 概况	9
(2) MOS 型集成电路的特点	10
(3) MOS 型集成电路的种类	12
(4) CMOS 型数字集成电路	12
2. 模拟集成电路	18
1) 概况	18
2) 模拟集成电路的优点	18
3) 模拟集成电路的弊端	21
(1) 运算放大器	21
(2) 差动放大器	25
(3) 读出放大器	25
(4) 比较器	25
(5) 模数—数模转换器	25
(6) 电压调整器	25
(7) 电压跟随器	25
(8) 可控硅 (SCR) 触发器	26
三、大规模集成电路概况	31
1. 大规模集成电路的定义和发展情况	31
2. 大规模集成电路的现状	32
1) MOS 型器件	32
(1) 半导体存储器	32
(2) 大规模集成逻辑电路	33
2) 双极型器件	33
(1) 半导体存储器	33

(2) 大规模集成逻辑电路	33
3) 电荷耦合器件 (CCD)	34
3. 新的双极型大规模集成电路—集成注入逻辑电路简介	34
1) I^2L 门电路的基本结构和原理	34
2) I^2L 电路的优点	35
3) I^2L 和 TTL、MOS 逻辑电路的比较	36
4) I^2L 电路的展望	37
4. 大规模集成电路发展动向	38
1) 大规模集成电路工艺发展动向	38
(1) 离子掺杂技术	38
(2) 新隔离技术	39
(3) 多层布线和表面钝化技术	39
(4) 计算机辅助设计	40
2) 发射极跟随器大规模集成电路 (EFL) 的出现	40
3) 半导体分立元件、集成电路的今后发展趋势	40
四、集成电路在机电工业中的应用	43
1. 工业电子设备用集成电路的特点和要求	43
2. 集成电路在汽车工业中的应用	44
1) 汽车用集成电路的特点和种类	45
2) 汽车电子装置采用集成电路的实例	46
3. 在机床工业中的应用	48
1) 数控机床发展概况	48
2) 数控机床各发展阶段的特点	49
3) 数控机床的集成电路化	50
4) 采用集成电路的数控装置实例	51
4. 集成电路在低压电器工业中的应用	53
5. 集成电路在仪器仪表工业中的应用	55
1) 国外仪器仪表的发展简况	55
2) 工业仪表的集成电路化	55
3) 仪器的集成电路化	59
4) 传送器、发信器的集成电路化	60
5) 仪表集成电路化的效果	61
6. 集成电路在照相机工业中的应用	62
1) 照相机工业采用电子技术的历史	62
2) 电子快门的特点	62
3) 电子快门技术现状	63
4) 集成电路在 8 毫米电影照相机内的应用	65
5) 今后发展趋势	65
7. 集成电路在机电配套设备中的应用	65

1) 集成电路在工业制控电子计算机中的地位.....	65
2) 集成电路在钢铁工业中的应用.....	71
3) 集成电路在电力工业中的应用.....	73
4) 集成电路在石油及化学工业中的应用.....	73
8. 集成电路在其他方面的应用.....	74
1) 在电力机车自动控制装置上的应用.....	74
2) 在纸浆和造纸工业中的应用.....	74
3) 在运输工业中的应用.....	74
4) 在微电机方面的应用.....	75

一、 引 言

集成电路是六十年代初期出现的一种新型的半导体器件，是半导体器件晶体管问世以来的一个重大的革新成果，它对电子学的发展有着深刻的影响。在国外集成电路及其后出现的大规模集成电路分别被人们称为电子器件的第三代和第四代：第一代—1904年出现真空管；第二代—1948年出现晶体管，五十年代实用化；第三代—1960年出现集成电路，六十年代实用化；第四代—1964年提出大规模集成电路的概念，1966年制成大规模集成电路，七十年代实用化。

集成电路是一种微型结构，它把构成一个电路的电阻、电容、二极管、晶体管等元器件制作在一块陶瓷基片或硅基片的上面或内部，形成一个空间上相互不可分割的整体。而大规模集成电路的集成度很高，按现阶段的定义，大规模集成电路是在一块几平方毫米的硅片或绝缘衬底片上制有100个以上的门电路（或1000个以上的元件），并在内部连接，构成一个功能部件或系统，其功能相当于几十块到几千块普通的集成电路。

集成电路与分立元件连成的电路相比较，具有体积小、重量轻、成本低、性能好、功耗低等优点。特别是由于使用集成电路大大减少了焊点，从而大幅度提高了整机的可靠性。在国外集成电路最初只是为了满足军事工业的需要，应用在有特殊要求的火箭导弹、宇宙航行等电子设备中。随着集成电路技术的发展和工艺的日趋完善，其质量不断提高，价格不断下降，集成电路也逐步地应用于工业民用电子设备中。目前集成电路和大规模集成电路已逐步广泛地应用于电子计算机、工业自动控制装置、数控机床、汽车、低压电器、仪器仪表、照相机等等工业设备中。

下面就国外集成电路*及其在机电工业中的应用情况作概括的介绍。

二、 集成电路的分类和发展情况

1. 数字集成电路

1) 双极型数字集成电路

国外生产的双极型数字集成电路品种很多，可简略归纳成表1：

表1 双极型数字电路分类

DCTL 直接耦合晶体管逻辑(Direct Coupled Transistor Logic)
RTL 电阻-晶体管逻辑(Resistor Transistor Logic)
RCTL 阻容-晶体管逻辑(Resistor Capacitor Transistor Logic)
DTL 二极管-晶体管逻辑(Diode Transistor Logic)

*广义的集成电路，除了半导体集成电路外，还有薄膜集成电路、厚膜集成电路和混合集成电路。这里我们所称的集成电路是指半导体集成电路。

HTL 高阈值逻辑(High Threshold Logic)

VTL 可变阈值逻辑(Variable Threshold Logic)

TTL 晶体管-晶体管逻辑(Transistor Transistor Logic)

CML 电流型逻辑(Current Mode Logic)又称ECL发射极耦合逻辑(Emitter Coupled Logic)

CTL 互补晶体管逻辑(Complementary Transistor Logic)

I²L 集成注入逻辑(Integrated Injection Logic)

EFL 发射极跟随器逻辑(Emitter Follower Logic)

CHL 抢电流逻辑(Current-Hogging Logic)

CHIL 抢电流注入逻辑(Current-Hogging Injection Logic)

C³L 互补恒电流逻辑(Complementary Constant-Current Logic)

STL 肖特基晶体管逻辑(Schottky Transistor Logic)

下面着重介绍目前在工业电子设备中最常用的DTL、TTL、HTL等电路。

(1) DTL逻辑电路

DTL历史悠久, 广泛用于不要求高速动作的工业电子设备中。

国外, DTL的生产厂很多, 品种可分二大类: 即美国费阿却尔特公司研制的DTL930系列及美国西屋公司研制的DTL200系列, 两种系列均有TO—5、扁平封装和双列直插式封装的产品。

DTL930系列具有电路设计合理、特性良好与插脚互换性较强的优点, 它能和SN74系列TTL进行互换。许多工厂都仿制DTL930系列。

美国莫托罗拉公司DTL830系列采用塑料双列直插式封装, 环境温度范围为0~+75℃, 适用于工业电子设备, 它和DTL930系列基本一样, 所不同者是DTL930系列的电源电压可保证 $V_{CC}=5.0$ 伏 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$, 而DTL830系列的电源电压仅保证 $V_{CC}=5.0$ 伏。

DTL930/830系列的基本门电路及其逻辑符号如图1所示, 其主要的电气特性列于表2。

表2 DTL930/830系列的主要电气特性

项 目	符 号	单 位	规范值
电源电压	V_{CC}	伏	5.0
扇出	F_o	/	8
功耗	P_d	毫瓦/门	8.5
噪声容限	V_{NM}	伏	1标准
平均传输延迟时间	t_{M}	毫微秒	25标准

与TTLSN74系列相比较, DTL930/830系列具有下列特点:

①逻辑功能与TTL一样, 均为正逻辑。“与非”功能, 比RTL的“或非”功能来得好。

②TTL增加输入端数困难, 而DTL增加输入端数很容易。采用门扩展电路或一般的二极管, DTL的输入端数可增加至20左右而无问题。

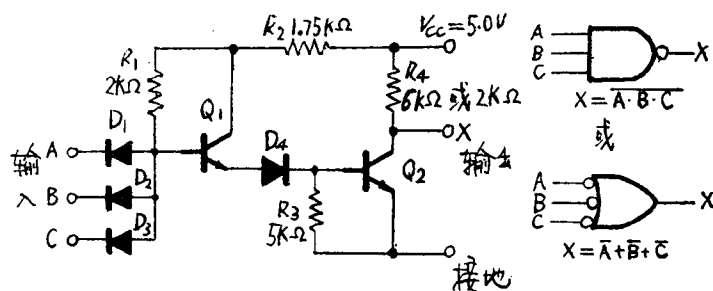


图1 DTL930/830系列的基本门电路及其逻辑符号

③将各路输出连接起来，可组成所谓“连接成的或”电路，获得“与”——“或”——“非”的功能（图2）。在逻辑设计上可以减少集成电路的使用数量。

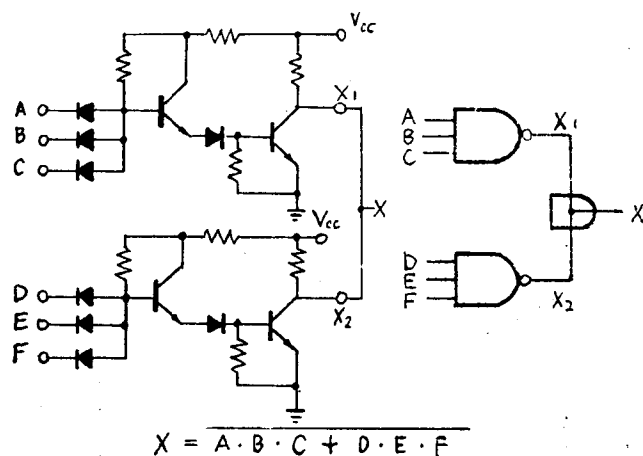


图2 “连接成的或”电路

④输出电路只有集电极电阻，所以输出电压振幅可接近电源电压 V_{CC} ，从输出端流出电流也容易。

⑤除了缓冲器外，其它基本门电路的输出电路没有象TTL那样为了提高开关速度而接成反电流源电路，因此不会流过瞬时大电流。对于电源电路与电源印刷电路板的设计可不作特殊考虑，也不必担心由于这一现象而产生噪声。

⑥功耗小。

⑦输入反向电流 I_{in} 小。

典型的工业用DTL系列特性如表3所示，美国、日本市售的工业用各种DTL系列如表4所示。

表 3 典型的工业用DTL系列特性一览表

项 目	符 号	单 位	200 系列	930 系列	830 系列	NE100 系列	ST600 系列
创制厂	/	/	西屋	费阿却尔特	莫托罗拉	雪格尼铁克斯	
电路方式	/	/	200 系列方式	930 系列方式			
品 种	/	/	有 R _s 者 无 R _s 者	$R_s = 6K$ 者 $R_s = 2K$ 者 (高速系列)			
标准电源电压	V _{cc}	伏	6.0	5.0	5.0	4.0	4.5
保证电特性的容 许电源电压波动	/	%	±5	±5	±0	±5	±5
保证电特性的容 许环境温度	T _a	°C	0~+75	0~+75	+25	0~+70	0~+75
扇 出 (全温度范围)	F _o	/	6(11)	8	*1 (8)	6	8
* 2 标准功耗	P _d	毫 瓦	*4 11(7)	*3 8.5(12.5)	*3 8.5(12.5)	12	16
标准直流噪声容限	V _{NM}	伏	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
平均传输延迟 时间	t _{pd}	毫微秒	*4 19(23)	*3 25(20)	*3 25(20)	25	30

注：*1：（）内仅为 $V_{CC}=5.0$ 伏时的保证值。

*2：工作循环为50%时的每门功耗值。

*3：（）内为高速系列 $R_4=2$ 千欧的情况。

*4：（）内为无 R_4 的情况。

表4 美国、日本市售的工业用DTL系列(塑料DTL封装)

创 制 厂	系列名称	工业用的系列名称	仿 制 厂	工业用的系列名称
西屋(美)	200系列	WC200D	雷桑(美)	RC200D
			松下电子(日)	FCH100
费阿却尔特(美)	930系列	DT _{HL} 993050	三菱电机(日)	M5930P*
莫托罗拉(美)	830系列	MC830P	德克萨斯(美)	SN15830N
			ITT半导体(美)	WC930-2
			飞歌福特(美)	9930 59
			雷桑(美)	RC 930
			雪力柯历克斯(美)	SI 830
			斯比兰(美)	930 59
			斯蒂瓦-瓦那(美)	SW930-2
			雪尔凡尼亚(美)	S9303
			美国无线电公司(美)	CD2300E
			日立(日)	HD2200
			东芝(日)	TD1060P
雪格尼铁克斯(美)	100系列	NE100A	斯普雷格(美)	NE100A
同 上	600系列	ST600A	同 上	ST600A

注：* M5930系列保证 $V_{CC}=5.0$ 伏 $\pm 10\%$ 。

(2) TTL逻辑电路

TTL是为了提高DTL的开关速度而研制的电路。在饱和型逻辑电路中，它的速度最高，TTL的品种很多，一般工业用的是中速TTL(平均传输延迟时间 t_{pd} ，13毫微秒，功耗 $P_d=10$ 毫瓦/门)。国外中速TTL可以美国德克萨斯公司研制的SN54/74系列作为代表。SN54系列的环境温度范围为 $-55^{\circ}\sim +125^{\circ}\text{C}$ ，是军用级。SN74系列为 $0^{\circ}\sim +75^{\circ}\text{C}$ ，专供一般工业用。SN74系列有扁平封装及塑料双列直插式封装二种，后者插脚互换性较强，工业用尤

为适宜。

TTL SN74系列的基本门电路及其逻辑符号如图3所示，其主要电气特性列于表5。

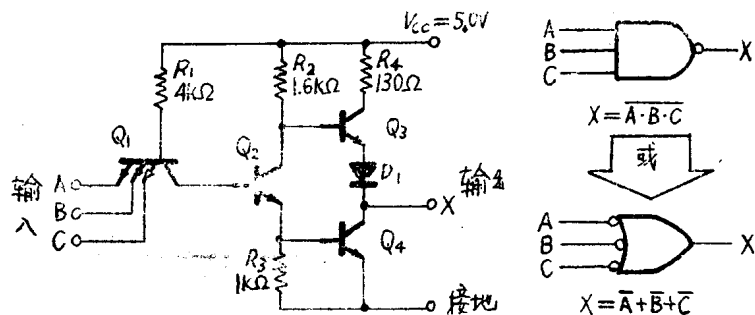


图3 TTLSN74系列的基本门电路及其逻辑符号

表5 TTLSN74系列的主要电气特性

项 目	符 号	单 位	规 范 值
电源电压	V_{CC}	伏	5.0标准
扇出	FO	/	10
功耗	P_d	毫瓦/门	10
噪声容限	V_{NM}	伏	1标准
平均传输延迟时间	t_{PD}	毫微秒	13标准

与DTL930系列相比，TTL SN74系列具有下列优点。

①适用于驱动容性负载。所有品种的输出均附有电流源电路，对于容性负载及负极性噪声脉冲均能稳定工作。

②扇出大， $F_o = 10$

③适于中规模集成电路(MSI)化

④开关速度高。

⑤与DTL一样，均为饱和型逻辑电路。故动作及逻辑电平稳定，逻辑振幅大。

但是，作为工业用集成电路，TTL也存在下列缺点：

①无法实现“连接成的或”功能。

②门电路的最大输入端数只有8个，必须将几个门电路组合，才能得到更多的输入端数。

③功耗虽比非饱和型逻辑电路小，但比DTL大，过渡状态时功耗很大，在重复频率很高时将成问题。

④易受高频交流噪声的影响而误动作。

⑤输出电位必须比 V_{CC} 低1.4伏，此外，在输出电位高的情况下，不能从输出电路流出电流。与DTL930系列相比，TTL的输出电路与其他电路相连时，需作特殊考虑。

⑥输入反向电流 I_{IL} 大，因此，用DTL930系列的输出驱动TTL SN74系列的输入时， F_o

下降为3。

⑦因为“1”电平输出阻抗低，所以过渡状态时将产生数十毫安的峰值电流，是造成误动作的原因，因此，电源及电源线的阻抗要尽可能低。

以上介绍TTL优点和缺点，是事物的两个方面。为了正确使用TTL，必须对它的特性有充分的全面了解，以便利用其优点，克服其缺点。

现在，国外TTL比DTL生产得多，其主要原因是系统高速化的需要和以TTL SN74为中心的具有计数器、移位寄存器、暂存存储器、译码器、全加器、逻辑比较器等功能的中规模集成电路已经商品化，并已得到广泛应用。

作为工业用集成电路，将TTL的MSI和DTL基本电路巧妙组合，可设计成各种最合理的数字系统。

表6 为美国、日本各种工业用中速TTL系列。

表6 美国、日本工业用中速TTL系列

$t_{\text{ol}}=13$ 毫微秒。 $P_d=10$ 毫瓦/门

厂 名	系 列 名 称
德克萨斯公司(美)	SN 74/54
雪尔凡尼亚(美)	SUHLI
雪格尼铁克斯(美)	S/N8000
莫托罗拉(美)	MTTLI
费阿却尔特	HLTT μ L TT μ L 9000
ITT半导体(美)	MIC 9000
国家半导体(美)	DM 7000/8000
斯普雷格(美)	USN 74/54 USS 74/54
日立(日)	HD 2500
东芝(日)	TD 1400
协同电子(日)	KTL7400
富士通(日)	MC 400
三菱(日)	M5300P/M53200P

TTL电路的国外水平见表7

表7 TTL电路的国外水平

TTL种类	平均延时(毫微秒)	平均功耗(毫瓦)
低功耗	30	2
中速	10	10
高速	6	22
肖特基	3(2)	20(22)
低功耗肖特基	10	2

(3) HTL逻辑电路

HTL的主要优点是：抗干扰性能好(标准为6伏，最劣情况下5伏)；与分立元件和机电元件以及运算放大器、倍增器和线性功能块接口容易，有很高的功率转换容量。主要缺点是：体积大、功耗大、速度较低，难于高度集成，成本高。它的主要应用领域：程序控制系统、电动机控制系统、电磁阀控制、自动化机械及可控硅(SCR)电路，以及传感器、接口等。

国外，HTL最先由美国阿迈尔哥公司制成，其300系列采用16脚双列直插式封装。接着美国莫托罗拉公司制成MC660P系列，与DTL930系列为同一插脚，采用15伏电源电压。其他如美国费阿却尔特公司生产的HTL，能在 $V_{CC}=12\sim 20$ 伏的宽广范围内工作，西屋公司亦制有WC2200D系列的HTL。

HTL基本门电路的一例如图4所示，典型HTL的主要电气特性列于表8。

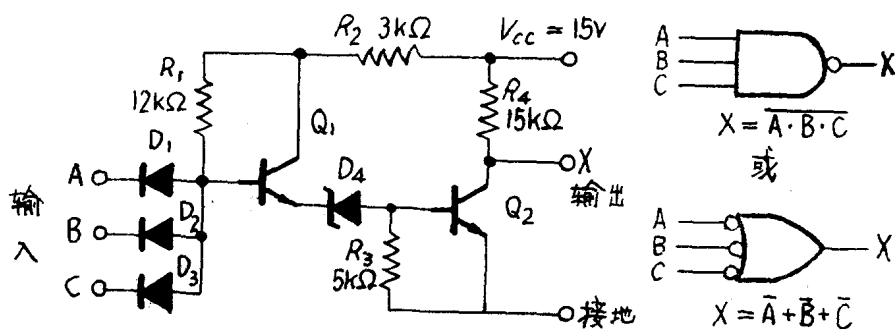


图4 MC660P系列HTL的基本门电路及其逻辑符号

从图4可以看出：HTL把DTL的电平移位二极管改用6伏的齐纳二极管，从而提高了输入的阈值电压。为使输入阈值电压达到6伏，故取电源电压为12~15伏。供HTL与TTL等电平变换用的集成电路已有商品。

HTL对于高噪声环境中工作的工业电子设备是很理想的，但存在速度低、功耗大的缺点，另外，在集成电路的制造过程中也有麻烦，因为电源电压高，要求耐高压，所以电路中的电阻数值大，从而使图形面积增大，价格提高。由于图形面积大，加上功耗大，所以MSI化

也比较困难。作为工业用集成电路，HTL只有在最必要的场合才严加选用，一般则以采用DTL或TTL为宜。

表8 典型HTL的主要电气特性

项 目	符 号	单 位	阿迈尔哥 公司 300系列	莫托罗拉公司 MC660P系列	费阿却尔 特公司 9110系列	西屋公司 WC2200D系列
电源电压	V_{CC}	伏	12(标准)	15(标准)	12~20	12(标准)
扇出	FO	/	5	10	10	6
功耗	P_a	毫瓦/门	24(标准)	60(标准)	* 1 250(标准)	48(准标)
噪声容限	V_{NM}	伏	4.2(标准)	5(标准)	6.5(最小)	5(准标)
平均传输 延迟时间	t_{PM}	毫微秒	60(标准)	80(标准)	120(标准)	60(标准)

注：* 1 $V_{CC} = 20$ 伏时。

(4) 双极型数字电路的发展趋向

双极型数字集成电路历史比较悠久，在技术方面已比较成熟，最近又出现若干新技术，将会以更快速度发展。在现阶段，双极型数字集成电路以TTL、DLL、ECL、STTL（肖特基TTL）为主流，工业上一般采用TTL、DTL。据美国期刊报导，双极型数字集成电路，到1973年，TTL的比重已由1967年的22%上升到67%，DTL由43%下降到17%，RTL、CTL等由25%下降到6%，ECL则保持不变，仍为10%。这种发展趋向可简单用图5表示。

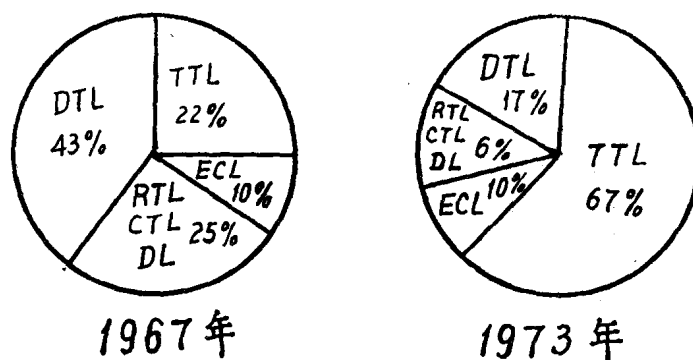


图5 各种逻辑电路的产品比重的变化

2) MOS型数字集成电路

(1) 概况

早在1930年，远在晶体管发明之前就有人提出利用半导体中感应的电荷进行电传导，可是对于MOS型器件的积极研制则是近年来的事，当解决了材料问题，采用平面工艺，提高器件的表面稳定性后，才使MOS器件进入实用阶段。

1962年采用平面工艺制作的MOS晶体管问世,由于其输入阻抗高、匹配方便、噪声低类似电子管,而很受人们注意,对它进行广泛的研究。同时由于它的工艺简单、自动隔离等特点,很快就进入集成电路领域、并且有力地推动集成电路由小规模向中规模(MSI),再向大规模集成电路(LSI)方向迅速发展。如今可在一块硅片上制作2万个MOS晶体管。

MOS型集成电路出现的初期,存在氧化膜不稳定与静电破坏等各种可靠性不高的问题。但是随着表面稳定技术的发展以及为大规模集成电路化而进行的许多基础研究工作,现在MOS型集成电路的稳定性与可靠性已有较大提高。

美国、日本各厂均制造MOS型集成电路的产品,计有倒相器、逻辑门电路、触发器、移位寄存器、计数器、全加器、字码管驱动器等。并制有LSI化的各种MOS存储器,用于大型通用计算机与工业控制机。根据MOS型集成电路的特点,国外主要用于台式计算机中。最近在电子计算机终端设备、工业用测量和控制设备速度较低的装置中也开始采用MOS型集成电路。

(2) MOS型集成电路的特点:

①MOS型集成电路的输入(栅极)是由氧化膜完全绝缘起来的,所以:

A、输入阻抗极高(达 $10^{12} \sim 10^{14}$ 欧数量级),输入漏电流可忽略不计,扇出非常大(双极型一般小于10)。

B、因为输入阻抗高,所以数字电路级间可以直接耦合,使电路得以简化。

C、输入阻抗是容性的,可以利用栅极电容的充放电作用,进行短时的信息记忆,这是MOS型集成电路的一个很大的特点,双极型集成电路则无此功能。

②MOS型集成电路中,常采用MOS型晶体管作为倒相等负载阻抗,并且与双极型集成电路不一样,元件不要电的隔离。所以:

A、MOS型晶体管的负载可由时钟脉冲进行短时间的激励,制成动态逻辑电路,功耗可显著降低。

B、不要制造扩散电阻的工序,工序数可显著减少,为双极型集成电路的一半还不到。制造技术的平均难度比双极型小三分之一左右,故合格率较高。

C、单位面积的集成度高,适于MSI、LSI,有助于系统的进一步微型化。

D、与双极型集成电路相比,基片面积小,这对价格也有利。

③.MOS型集成电路的其他优点:

A、MOS型晶体管的“源”、“漏”是对称制造的,电流可沿两个方向流通,故可用作双向开关,使电路简化。

B、电压激励,使用简单。

C、阈值电压高,逻辑振幅大,噪声容限大。

MOS型集成电路的缺点:

A、速度低(50千赫至2兆赫左右)。

B、电源电压高。

C、输出阻抗大(1千欧数量级)。

表9为MOS型和双极型集成电路的比较,表10为两者基片主要工序的比较。

表9 MOS型和双极型集成电路的比较

		MOS型	双 极 型
电 路 元 件	激励方式	电压激励	电流激励
	电源电压	高(—15—28伏)	低(+5~+6伏)
	速度	低(微秒级)	高(毫微秒级)
	功耗	中	大
	输入阻抗	大($10^{12} \sim 10^{14}$ 欧)	小
	输出阻抗	大(数百—数千欧)	小(数~数十欧)
	噪声容限	大	小
	耐浪涌击穿的程度	小	大
	电压电平的稳定性	小	大
	输出电流	小	大
高 度 集 成 化 的 难 易	制造工序	少(一半不到)	多
	单位面积的电路功能	大	小
	相同基片面积的元件数	多	少
	相同电路功能的元件数	少	多
	基片工序的合格率	高	低
	功耗→元件温升	小	大

表10 MOS型和双极型集成电路基片主要工序的比较

	MOS型	双 极 型
氧化工艺	2次	5次
外延生长	/	1次
N+扩散(发射极、隐埋层)	/	2次
P+扩散	1次 ^{*1}	1次 ^{*2}
P扩散(基极)	/	1次
P ₂ O ₅ 处理(表面稳定用)	1次	0~1次
光刻工艺	4次	6次
重要工序总数	8次	16~17次

注: * 1 制“源”与“漏”用。

* 2 隔离用。