

世界电子元器件参数及互换丛书

最新世界场效应管

详尽参数及互换手册

TRANSISTOR

最新增订本



陈清山 徐正楚 曹宇衡等

编译



湖南科学技术出版社
hunan science & technology press

最新增订本

TRANSISTOR

陈清山 徐正楚 曹宇衡等

编译

世界电子元件参数及互换丛书

最新世界场效应管

详尽参数及互换手册

湖南科学技术出版社



B1291092

MA156/07

最新世界场效应管详尽参数及互换手册 (最新增订本)

编 译: 陈清山 徐正楚 曹宇衡

责任编辑: 陈一心 陈清山

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 280 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-4375808

印 刷: 湖南飞碟新材料有限责任公司

衡阳印务分公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 湖南省衡阳市黄茶岭光明路 12 号

邮 编: 421008

出版日期: 2003 年 5 月第 2 版第 3 次

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 34

字 数: 1400000

书 号: ISBN 7-5357-2374-8/TN·67

定 价: 45.00 元

(版权所有·翻印必究)

内 容 简 介

在新版中，增补了约两千种日本场效应管的详尽参数、用途、构造、外形和极性等内容。

本书就新的型号及详尽参数而言，超过了目前国内外任何一种同类书。作者力图使本书成为国内外最权威和最受读者欢迎的同类书中的精品。

本书介绍了日本、美国、韩国和欧洲生产的数以万种的场效应管的型号、详尽参数、代换型号及外形极性图，可谓“一册在手，应有尽有”。本书与我社出版的《新编中外晶体管互换全集》、《最新世界晶体三极管详尽参数及互换手册》、《最新世界晶体二极管详尽参数及互换手册》、《最新世界集成电路互换手册》等书配套。

本书可供有关电子元器件的设计、生产、销售和维修人员作为案头工具书使用。

参加本书编译和审校的有陈清山、徐正楚、曹宇衡、李璠、张文灿、王学维、张国友、虞世荣、冯伟新、胡枫泽及陈桂芳和白云等人。

目 录

一、各类场效应管的结构、原理和参数	(1)
1. 结型场效应管	(1)
2. 绝缘栅型场效应管	(6)
3. 场效应管主要参数符号及其含义	(13)
二、日本场效应管用途构造参数一览表	(22)
1. 单栅极场效应管 (所缺型号请查看第二版增补的内容)	
2MI50	(22)
2N4392~4393	(22)
2SJ11~2SJ465	(22)
2SK11~2SK2591	(34)
3SJ11~3SJ11A	(104)
3SK71、3SK163、3SK248	(104)
4AJ11	(112)
4AK15~4AK27	(112)
4AM11~4AM17	(112)
6AM11~6AM14	(112)
CXD7500M~CXD75001M	(112)
FC11~FC18	(112)
FHC30~FHC40	(112)
FHR01FH~FHR20X	(112)
FHX04FA~FHX45X	(112)
FK7UM-12~FK30SM-6	(114)
FLC08ME~FLC311MG-4	(116)
FLK012WF~FLK202XV	(116)
FLL10ME~FLL351ME	(116)
FLM0910-2~FLM8596-8C	(116)
FLR014FH~FLR106XV	(120)
FLX102MH-12~FLX202MH-12	(120)
FP401	(120)
FS1AS-16A~FS70SMJ-06	(120)
FSC10FA/LG~FSC55LG	(128)
FSX02FA/LG~FSX54LG	(128)
FT6011~FT6862	(128)
FTR6120~FTR6122	(130)
FX207~FX208	(130)
HAF2001	(130)
HAT1001F~HAT3004R	(130)
HN1K02FU~HN1K03FU	(130)
KGF1800~KGF1870	(130)
M46F~M47F	(130)
MD1.3N10~MD08N20	(130)
ME2N20~ME15N06E-F	(130)
MF2N60E~MF30N06E	(132)
MFA174~MFA254	(132)
MG1.5N40~MG2.5N50	(132)
MG2N20~MG2N25	(132)
MG2P50~MG50	(132)
MGF0904~MGF4719F	(134)
MGF-X34M	(138)
MFC36V3742~43V4450	(138)
MGFK25~MGFK41	(138)
MGFX35V~MGFX39V0717	(140)
MK6N~MK10	(140)
MP6704	(140)
NE345~NE76184A	(140)
NEZ0910-2A~NEZ1414-4A	(140)
P2H10M440H~P2H7M441L	(140)
PD4M440H~PD10M441L	(142)
PF0004~PF0022	(142)
PM1210B~PM50502C	(142)
PU61C56~PU8456	(142)
RHF1203CL	(142)
SDK02~SDK04	(142)
SGH5002E~SGH5602E	(142)
SGM2004M~SGM2016M/P	(142)
SLA5001~SLA5033	(144)
SMA5101~SMA5109	(144)
STA501A~STA506A	(144)
TM100-H~TM401-N	(144)

TX-429D	(144)	YTFP150~YTFP453	(148)
TS300~TS300V	(144)	μ PA33A~ μ PA1700G	(148)
XGF1801~XGF1850	(144)	μ PD16803GS	(150)
YTF150~YTF843	(144)		

2. 双栅极场效应管

3SK11H~3SK297	(104)	MGF1100	(110)
M91F	(110)		

三、美国、韩国及欧洲场效应管参数一览表

2N6659~2N7002	(152)	IXT	(206)
3N161~3N164	(156)	L	(209)
A	(156)	M	(209)
B	(157)	N	(225)
C	(160)	S	(225)
D	(161)	T	(234)
IR	(161)	VN	(238)
IRF	(163)	VP	(248)
IRL	(204)	VQ	(253)
IT	(206)	Z	(254)

四、组件、维修型或淘汰型场效应管参数一览表

A···(256) B···(270) C···(292) D···(301) E···(307) F···(320) G···(331) H···(332)
I···(336) J···(367) K···(372) L···(377) M···(379) N···(401) O···(404) P···(406)
R···(411) S···(417) 2N···(424)

五、第二版增补的日本场效应管参数一览表

1. 单栅极场效应管	(484)
2. 双栅极场效应管	(536)

附 录

1. 国外场效应管外形图	(444)
2. 场效应管维修型或淘汰型外形图	(481)

一、各类场效应管的结构、原理和参数

场效应晶体管简称为场效应管，用英文缩略语 *FET* 表示。场效应管与晶体三极管比较，均具有三根有效电极（双栅极场效应管除外），都有放大和开关功能，均可以作为可变电阻器使用。就上述用途而言，场效应管可以与晶体管媲美。然而，对于某些特殊的用途，如电压放大、前置放大、阻抗匹配等方面，场效应管均超过了晶体管。因此，学好场效应管的基本知识是完全有必要的。

与晶体管相比较，场效应管具有输入阻抗高（几百或几千兆欧以上）、静态功耗低（静态电流约几百微安、静态功耗零点几毫瓦）、噪声低、工作点的动态范围大、抗电磁波干扰的能力强、便于集成化等优点；其缺点是负载电流或负载功率小（除 *VMOS* 管以外）、耐压能力差、易造成静电击穿等等。

晶体管是电流控制器件；而场效应管是电压控制器件。电压控制意味着电场能的控制，故把后者称其为电场效应晶体管（简称为场效应管）。就导电的载流子而言，晶体管是利用多数载流子和少数载流子同时导电的器件；而场效应管就沟道电流的主流方向而言，是利用多数载流子导电的器件。因此，把晶体管称为双极性型晶体管；把场效应管称为单极性型晶体管。

晶体管的概念分为广义和狭义。就广义而言，晶体管分为晶体二极管、双极型晶体管、单极型晶体管、闸流晶体管等等；就狭义而言，晶体管指的是双极型晶体管。本书中晶体管的概念通常是狭义的。

场效应晶体管的类型 根据结构的不同，可把场效应管分为结型场效应管（用 *JFET* 表示）和绝缘栅型场效应管（用 *IGFET* 表示）。因绝缘栅型场效应管通常是用金属、氧化物和半导体材料制成的，故又称其为金属氧化物半导体场效应管（用英文缩略语 *MOSFET* 表示）。根据导电沟道材料的不同，可把场效应管分为 *P* 型沟道场效应管和 *N* 型沟道场效应管。根据栅源电压为零（ $U_{GS}=0$ ）时的漏极电流（ I_D ）的大小，可以把场效应管分为耗尽型（ I_D 最大）、增强型（ I_D 最小，近似为零）、耗尽型加增强型（ I_D 较大）。结型和砷化镓（*GaAs*）型场效应管均为耗尽型；绝缘栅型场效应管有耗尽型加增强型、增强型。

1. 结型场效应管

（1）结型场效应管的结构和原理

我们知道：在二极管的结构中具有一个 *PN* 结，在晶体管的结构中具有两个 *PN* 结，在结型场效应管的结构中也具有两个 *PN* 结，显然，*PN* 结也是结型场效应管的基本结构。

我们还知道，当设法使 *P* 型半导体与 *N* 型半导体相结合时，在其界面部分就会发生电子和空穴的复合过程：即 *N* 区的多数载流子电子和 *P* 区的多数载流子空穴相复合而被湮灭，也就是说，其电子跑到其空穴的位置。其结果，使 *P* 区在界面附近失去了空穴而形成了负离子薄层；而使 *N* 区在界面附近失去了自由电子而形成了正离子薄层。正离子带正电；负离子带负电。如果 *P* 型和 *N* 型半导体的掺杂浓度相同或相近，那么，*N* 区的正离子薄层和

P 区的负离子薄层的厚度也相同或相近。其正离子薄层和负离子薄层共同组成的空间便是 PN 结。在 PN 结中，由于电子和空穴的复合作用，其载流子——电子和空穴均被消耗尽了，故 PN 结又被称为耗尽层，就平面而言叫耗尽区（见图 1—1）。

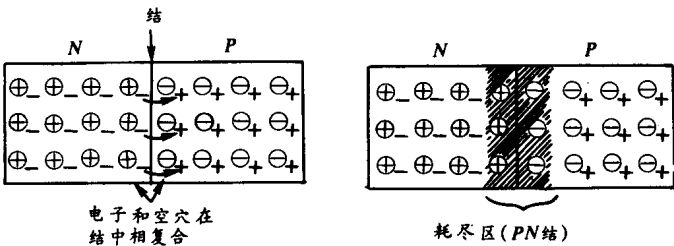


图 1—1 电子和空穴复合及耗尽区

当 PN 结的两端外加反向电压时（例如，P 区接电源负极，N 区接电源正极），则耗尽区就会扩展而变宽（就空间而言而变厚），并且，N 型半导体中的正离子层的厚度与 P 型半导体中的负离子层的厚度几乎相同。但是，如果 P 区的杂质浓度高于 N 区，则耗尽层主要向 N 区扩展；如果 N 区的杂质浓度高于 P 区，则耗尽层主要向 P 区扩展。总之，PN 结施加反向电压以后，耗尽区主要向杂质浓度低的掺杂半导体扩展。P⁺ 和 N⁺ 分别表示杂质浓度高的 P 区和 N 区，N 和 P 分别表示杂质浓度低的 N 区和 P 区。其耗尽区在反向电压下的扩展方向如图 1—2 所示。

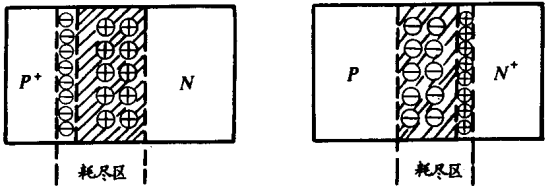


图 1—2 P⁺N 与 PN⁺ 的耗尽区示意图

结型场效应管就导电沟道（通道）而言，有 N 沟道和 P 沟道两类。图 1—3 所示的是 N 沟道结型场效应管的结构及工作原理示意图。

如图 1—3 所示，在一块低掺杂的 N 型区两边，通过扩散工艺形成两个高掺杂的 P⁺ 型区，以形成两个 PN 结。其中，N 型区较薄，并且，两个 P⁺ 型区用导线被连接在一起。N 型区两端的两根金属电极（引脚）分别叫漏极（用字母 D 表示）和源极（用字母 S 表示），自 P⁺ 区引出的电极（引脚）叫栅极（用字母 G 表示）。通常工作时，漏极通过电阻 R_D 接电源 E_D 的正极；源极接电源 E_D 的负极；栅极 G 接电源 E_G 的负极；而 E_G 的正极接源极。源极为零电位的参考点，故电压为 0V。就对零电位而言： $U_D > U_S$ ， $U_S > U_G$ ， $U_D > U_G$ 。就各极之间的电压而言： $|U_{DG}| = |U_{DS}| +$

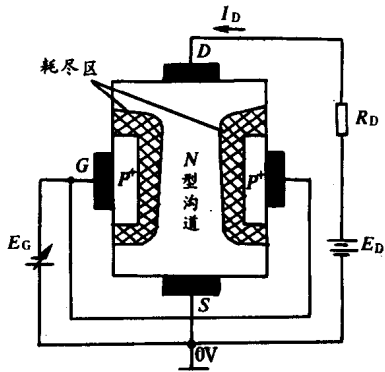


图 1—3 N 沟道结型场效应管的结构

$|U_{GS}|$; $|U_{DS}| = |U_{DG}| - |U_{GS}|$ (注: $|U_{DG}|$ 表示 U_{DG} 的绝对值, 其余类推)。

其工作原理是这样的: 由于栅极 G 接电源 E_G 的负极, 并同时与两个 P^+ 区相连接, 源极 S 与 E_G 的正极相连接, 显然, 两个 P^+N 结均加上了反向电压, 因此, 只有极微小的反向饱和电流 (可以被忽略) 流出栅极, 并流到 E_G 的负极。漏极 D 和源极 S 都与 N 型半导体相连接, 当施加了一定的漏源电压 U_{DS} 以后, 当栅极电压绝对值不太大 (不太负) 时, 漏源之间就有电流 I_D 流过 N 型沟道。

由于掺杂浓度的原因, P^+N 结的耗尽区大部分在 N 区, 并且, 当加上反向电压后, 耗尽区主要向 N 区扩展, 其反向电压愈高, 耗尽层愈厚, 则电流的通道——沟道就愈窄, 沟道电阻就增加, 当漏源电压 U_{DS} 一定时, 根据欧姆定律, 其漏极电流 I_D 就减小。当反向电压的绝对值小 (U_{GS} 不太负) 时, 耗尽层 (绝缘层) 变薄, 沟道变厚, 沟道电阻变小, U_{DS} 一定时, 则 I_D 增加。综上所述: 当漏源电压 U_{DS} 一定时, 漏极电流 I_D 的大小会随着栅源电压 U_{GS} 的大小而变化。换言之, 栅源电压 U_{GS} 能控制漏极电流 I_D 的大小。显然, 变化的漏极电流 I_D 又能在负载电阻 R_D 两端产生变化的电压, 也可以说在漏极与源极两端 (忽略电源 E_D 内阻时) 产生变化的电压。结型场效应管通过栅源电压 U_{GS} 的变化来控制漏极电流 I_D 和漏源电压 U_{DS} 的变化, 因此, 结型场效应管是电压控制器件。

结型场效应管的放大原理 如图 1—4 所示, 把交流输入信号电压 U_{si} 加在栅极与源极之间, 当 U_{si} 变化时, 栅极直流电压 U_{GS} 会跟随着变化, 由此引起漏极电流大幅度地相应变化, 则 I_D 中的交流成分将在负载电阻 R_D 两端产生交流电压降。由于 I_D 的变化量 (ΔI_D , 即 i_m) 及 R_D 均足够大, 故负载 R_D 上输出的交流信号电压 (U_{so}) 则远大于输入信号电压 U_{si} , 因此, 实现了信号电压的放大。因为 E_D 的内阻很小, 可以被忽略, 因此, R_D 两端的信号电压实际上就是漏极和源极两端的信号电压。这和晶体管的电压放大的原理是一样的。

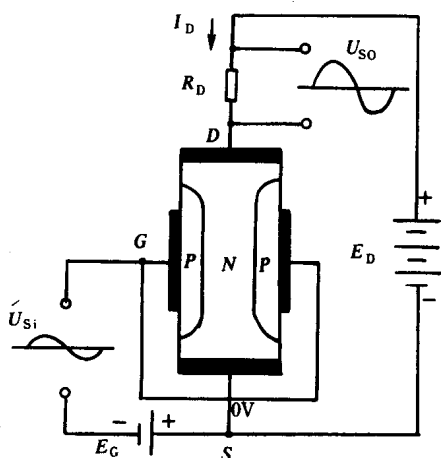


图 1—4 场效应管放大原理

(2) 结型场效应管的特性及特性曲线

指的漏极特性及栅漏特性 (转移特性) 以及表示它们的特性曲线。漏源电压 U_{DS} 是产生漏极电流 I_D 大小的动力; 而栅源电压 U_{GS} 是控制漏极电流 I_D 大小的闸门。显然, I_D 的大小及有无与 U_{DS} 及 U_{GS} 有关。换言之, I_D 受到 U_{DS} 及 U_{GS} 的双重控制。当栅源电压 U_{GS} 一定时, 漏极电流 I_D 与漏源电压的变量关系便是漏极特性; 当漏源电压 U_{DS} 一定时, 漏极电流 I_D 与栅源电压 U_{GS} 的变量关系便是栅漏特性 (转移特性)。

① 栅源电压 $U_{GS} = 0$ 时的漏极特性 (I_D 与 U_{DS} 的变量关系)

栅源电压 $U_{GS} = 0$, 意味着栅极 G 与源极 S 之间短接, 由于漏源电压 U_{DS} 的存在, 故有漏极电流 I_D 自漏极经 N 型沟道流向源极。由于沟道有一定的电阻值 R_N , 因此, I_D 流过沟

道时要产生电压降 ($I_D \cdot R_N$)。就沟道电位而言, 沟道的漏极处电位最高 (为 U_D), 而源极处的电位最低 (为零伏), 因此, 沟道自 D 端至 S 端电位逐渐变低, 形成所谓的电位梯度。由于栅极 G 和源极 S 连在一起, 故栅极 G 和源极 S 同是零电位。由于 N 型沟道处于高电位, P^+ 区 (栅极 G) 处于低电位, 因此, 漏源电压 U_{DS} 对于 P^+N 结而言是反向电压。由于 N 沟道存在电位梯度, 所以, PN 结上的各点的反向电压是不同的: 越靠近漏极, 反向电压越高; 越靠近 S 极, 反向电压越低。因此, 在漏极 D 处耗尽层较厚, 在源极 S 处耗尽层最薄, 所以, 当漏源电压 U_{DS} 足够大时, N 型沟道两侧的耗尽层都成为楔形 [见图 1—5 (b)]。

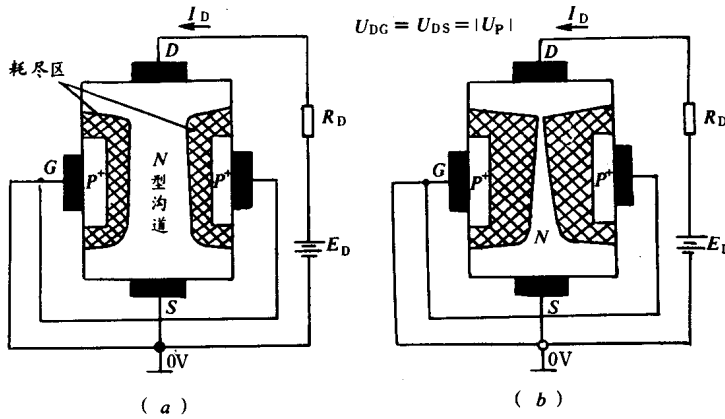


图 1—5 $U_{GS}=0$ 时的结型场效应管的特性

当栅源电压 U_{DG} 大于零并很小时 (例如, 小于饱和电压 U_{DSS} 的 $1/2$), 那么, 对沟道的各点来说, P^+N 结的反向电压均很小, 耗尽层自上而下的宽度几乎相等, 因此, 沟道自上而下的宽度也几乎相等 [见图 1—5 (a)], 这时, 可以把沟道看成是一个阻值一定的电阻器, 所以漏极电流 I_D 与漏源电压 U_{DS} 几乎成正比, I_D 与 U_{DS} 的变量关系绘在直角坐标上近似一条直线, 如图 1—6 (b) 中曲线的 OA 线段。其斜率 $\Delta I_D / \Delta U_{DS} = 1/R_{on}$ (R_{on} 为导通电阻)。

当 U_{DS} 逐渐增大时, 则靠近漏极一端沟道两侧的耗尽层就逐渐地变厚 (成为典型的楔形耗尽层), 使导电沟道逐渐地变薄 (成为丁字形), 因而沟道电阻逐渐地增大, I_D 的增加速率变小了, 并且不成正比了, 这时相当于图 1—6 (b) 所示的 AB 线段。

当漏源电压 U_{DS} 继续升高, 沟道的电位梯度更大, 沟道靠近漏极一端两侧的耗尽层进一步变厚。当 U_{DS} 升高到饱和电压 U_{DSS} 时, 沟道在漏极一端两侧的耗尽层就有一点恰好靠近, 如图 1—5 (b) 所示。这种状态被称为夹断。因此, 饱和电压 U_{DSS} 又被称为夹断电压 (U_P)。饱和电压所对应的电流 I_{DSS} 被称为饱和电流 [见图 1—6 (b)]。 $U_{GS}=0$ 时的夹断电压 U_P (饱和电压 U_{DSS}) 及饱和电流 I_{DSS} 是个重要的并且极易被混淆的概念, 请读者务必注意。 U_P 知道了, 就知道了 I_{DSS} 、饱和区和可变电阻区, 并且就能知道当 $U_{GS}=0$ 时的栅源截止电压 $U_{GS(off)}$ 的绝对值 [理论分析和实验证明: $|U_{GS(off)}| = |U_P|$]。

当 U_{DS} 大于 $U_{DSS} (U_P)$ 时, 沟道的耗尽层进一步变厚, 使夹断部分向下延伸 [见图 1—6 (a)], 使沟道的电阻变大, 结果电流几乎不变。这就是图 1—6 (b) 中曲线的 BC 线段。

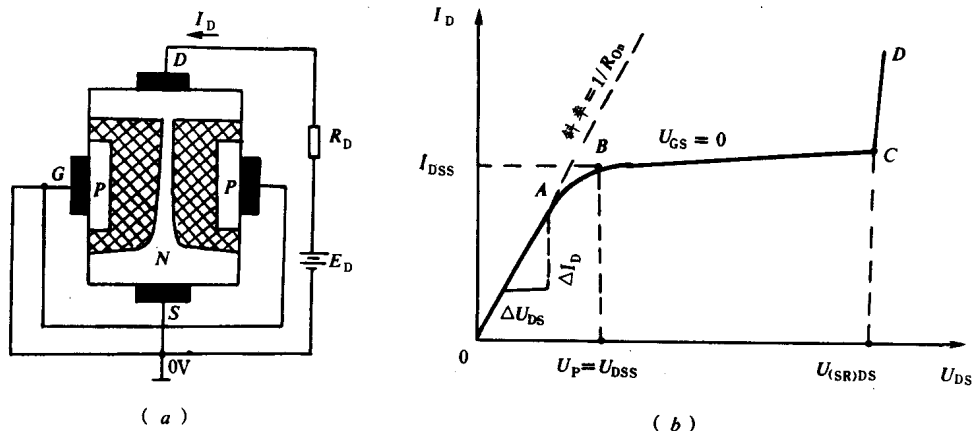


图 1—6 $U_{GS}=0$ 时进入饱和区的耗尽层及其曲线

应当注意的是：沟道中的耗尽层靠近并不等于耗尽层接触，实际上，靠近的耗尽层之间存在着狭缝，沟道中的载流子从狭缝中通过。换言之，沟道被夹断并不等于被阻塞，事实上，被夹断时沟道电流最大并呈现出饱和状态，所以，其夹断电压所对应的电流被称为饱和电流 I_{DSS} 。进而提高 U_{DSS} ，也只能改变导电沟道的长短，而几乎不改变 I_{DSS} 。

当 U_{DS} 继续增加到某一数值时，沟道两侧的耗尽层被反向击穿，相当于绝缘体在一定的高电压条件下变成导体那样，这时的漏源电压被称为击穿电压 $U_{(BR)DS}$ ，如图 1—6 (b) 中曲线的 CD 线段。

② U_{GS} 为负电压、 U_{DS} 为正电压时的漏极特性

对栅源负电压 U_{GS} 取不同的值（见图 1—7），就能得到漏极电流 I_D 与漏源电压 U_{DS} 的关系曲线（其中包括 $U_{GS}=0$ 的曲线），这样的曲线簇被称为漏极特性曲线簇。

漏极特性曲线簇形象地反映了栅源电压 U_{GS} 和漏源电压 U_{DS} 两者与漏极电流的关系： U_{GS} 越负，耗尽层越厚；导电沟道越窄；而 U_{DS} 的正电压使耗尽层和导电沟道两者均不等厚。在同样的 U_{DS} （如 $U_{DS}=10V$ ）的条件下， U_{GS} 越负， I_D 越小，当发生夹断时所对应的夹断电压

U_P 也越小（如图 1—7 中 a 点的夹断电压大于 b 点的， b 点的大于 c 点的）。 a 、 b 、 c 三点的夹断电压 U_P 绝对值有如下关系： a 点的 $U_P = b$ 点的 $U_P + 1 = c$ 点的 $U_P + 2 \dots$ 。

当栅负电压 U_{GS} 负到某一数值时，两侧的耗尽层在整个沟道内相接触，等效于整个沟道被绝缘体阻塞，其电阻无限大， $I_D = 0$ ，见图 1—8。这时栅源电压被称为栅源截止电压 $U_{GS(off)}$ 。理论分析（读者自己可以分析出来）和实验证明：栅源截止电压的绝对值近似等于当 $U_{GS}=0$ 时的夹断电压 U_P ：

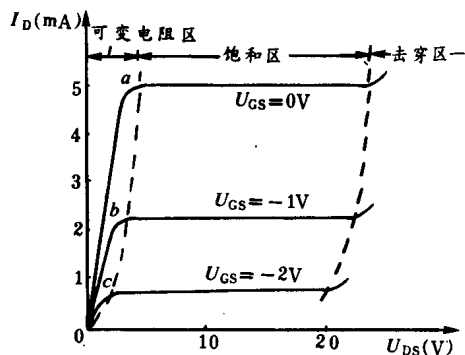


图 1—7 漏极特性曲线簇

$$|U_{GS(off)}| = U_P \quad (\text{条件: } U_{GS} = 0)$$

③结型栅漏转移特性 (栅漏电流特性)

场效应管的输入阻抗很高, 因此, 输入电流几乎为零。这样, 既难以讨论输入电流与输出电流的关系, 又难以讨论输入电流与输入电压的关系。结型场效应管漏极曲线簇表明: 在放大区 (饱和区、恒流区), 对于确定的栅源负电压 U_{GS} (如图 1—7 中的 $-IV$), 漏极电流 I_D 几乎不随漏源电压 U_{DS} 的变化而变化。但是, 在同样的放大区, 如果使漏源电压 U_{DS} 确定 (例如, $10V$), 当改变栅负电压 U_{GS} 时, 漏极电流 I_D 将发生明显的相应变化。这与晶体管基极电流对集电极电流 I_C 的影响是相似的。

栅漏转移特性 (栅漏电流特性) 是指: 在漏源电压 U_{DS} 确定的条件下, 栅源电压 U_{GS} 的变化引起漏极电流 I_D 变化的变量关系。将这种变量关系反映在直角坐标中便是一条关系 (函数) 曲线。这种关系曲线被称为转移特性曲线或栅漏电流特性曲线 (见图 1—9)。

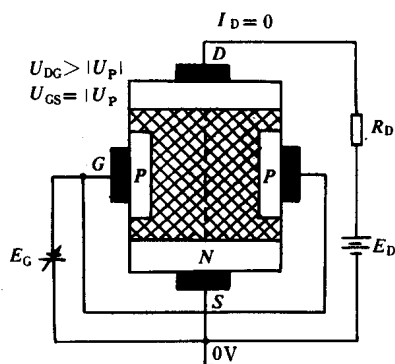


图 1—8 栅源截止电压的概念

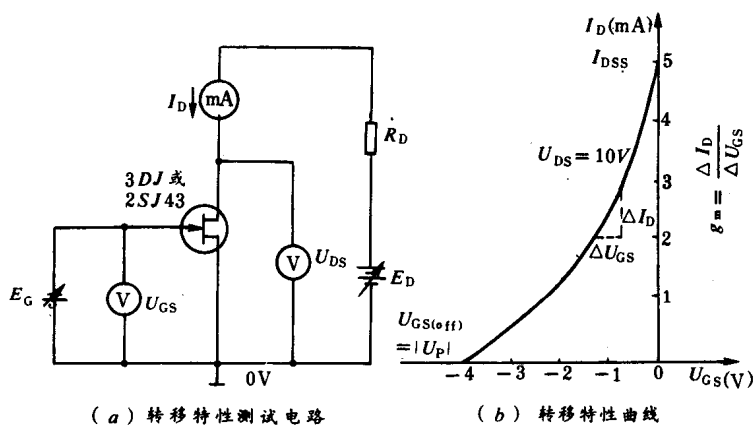


图 1—9 转移特性曲线及测试电路

图中, I_{DSS} 是 $U_{GS} = 0$ 时的饱和电流; 在漏极特性曲线簇中, I_{DSS} 对应的漏源电压便是 $U_{GS} = 0$ 时的饱和电压 U_{DSS} , 也就是夹断电压 U_P ; 图中的栅源截止电压 $U_{GS(off)} = -4V$; $U_P = |U_{GS(off)}| = |-4V| = 4V$ 。

表示栅源电压 U_{GS} 对漏极电流 I_D 的控制能力的参数叫跨导, 用 g_m 表示。

$$g_m = \Delta I_D \text{ (mA)} / \Delta U_{GS} \text{ (V)} \quad (\text{单位: mS})$$

跨导 g_m 的单位常用西门子 (S) 或毫西门子 (mS) 表示 ($1S = 1000mS$)。

跨导 g_m 越大, 意味着 U_{GS} 变化时, 所对应的 I_D 变化越大, FET 的增益就越高。就通常的放大作用而言, g_m 是我们所追求的特性参数。

2. 绝缘栅型场效应管

绝缘栅型场效应管通常是用金属、氧化物和半导体材料制成的, 因此, 又叫金属氧化物

半导体场效应管，用英文缩略语 MOSFET 表示。我们知道，结型场效应管的栅极 G 是通过 P 型（或 N 型）材料与 PN 结串联以后再与沟道连接的。而 MOS 场效应管的栅极是通过 0.1 微米厚的绝缘材料（二氧化硅）与沟道连接的。二氧化硅薄层的绝缘电阻很大（ 10 亿至 1 百万亿欧），因此薄到连肉眼都无法看见，故耐压强度低。所以 MOS 场效应管又被称为绝缘栅场效应管。它与结型场效应管比较而言，输入电阻更高，温度稳定性更好，工艺简单，易于集成化。

根据栅源电压 $U_{GS}=0$ 时是否存在导电沟道，可以把绝缘栅场效应管分为两大类：增强型（ $U_{GS}=0$ 时不存在导电沟道，即 $I_D=0$ ）和增强型+耗尽型（ $U_{GS}=0$ 时存在导电沟道，即 $I_D \neq 0$ ，并且，正负栅源电压在一定的范围内均可以工作）。上述每种类型又可以分为 N 沟道型和 P 沟道型。因此，绝缘栅型场效应管（如 MOS 场效应管）可以被分为如下 4 种类型： P 沟道增强型（ $U_{GS}=0$ 时， $I_D=0$ ，开启电压 U_{th} 为负值）、 N 沟道增强型（ $U_{GS}=0$ ， $I_D=0$ ，开启电压 U_{th} 为正值）、 P 沟道增强型+耗尽型（ $U_{GS}=0$ 时， $I_D \neq 0$ ，栅源截止电压 $U_{GS(off)}$ 为正值）、 N 沟道增强型+耗尽型（ $U_{GS}=0$ 时， $I_D \neq 0$ ）， $U_{GS(off)}$ 为负值。

① N 沟道增强型 MOS 场效应管

结构 其结构如图 1—10 所示。在一块掺杂浓度较低因而电阻率较高的 P 型硅片（衬底）上，通过扩散工艺形成两个掺杂浓度较高的 N 型区（用 N^+ 表示，其中的正号表示高掺杂浓度），然后，设法在 P 型硅片的表面生长出一层很薄（ $0.1\mu\text{m}$ 左右）的二氧化硅绝缘层。又在两个 N^+ 型区的表面通过铝膜分别安置两个电极，这两个电极是对称的，其中 1 个叫漏极 D ，另 1 个叫源极 S 。再在二氧化硅的表面镀一层铝膜，并自铝膜引出电极，称其为栅极 G 。由于管子的栅极 G 与导电沟道是绝缘的（绝缘电阻亿欧级），故称其为绝缘栅场效应管。图 1—10 (b) 所示的是 N 沟道增强型 MOS 场效应管的符号，其箭头方向表示由 P 型硅片（衬底）指向 N 型沟道。

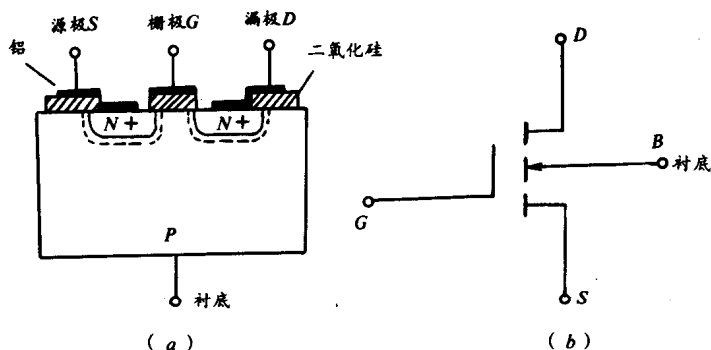


图 1—10 N 沟道绝缘栅场效应管的构造及符号

工作原理 前面已经介绍过：结型场效应管是利用 PN 结的反向偏置电压来控制 PN 结（耗尽层）的厚度，以改变导电沟道的厚度（就平面而言是宽度），从而控制漏极电流 I_D 大小的。对于绝缘栅型场效应管，则是利用栅源电压的大小，来改变感应生存的导电沟道的厚度（感应电荷的多少），从而控制漏极电流 I_D 大小的。实现后一种控制的方式有多种。如下介绍的是 N 沟道增强型场效应管的工作原理。

当各电极（引脚）均开路（未接电源电压）时，漏极 D 和源极 S 之间的通道由两个背

靠背的PN结及它们之间的P型电阻体组成,如图1—10(a)所示。

当漏极D接电源正极,源极S接电源负极,源极S与衬底B连接,并且,源极S与栅极短接($U_{GS} = 0$),如图1—11所示,则无论 U_{DS} 的极性如何,两个PN结中,总有一个PN结是反向偏置的。不难看出,图中,衬底(P区)与漏极(N^+ 区)之间的PN结是反向偏置的,其电阻在数百千欧以上,因此,漏极电流 I_D 几乎为零。

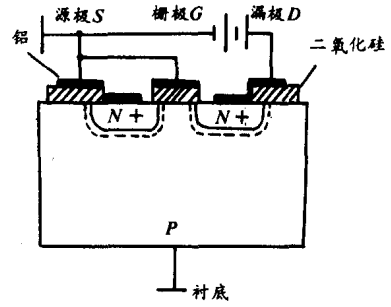


图1—11 $U_{GS} = 0$, D接电源正极, S接负极并接地时

从图1—11中我们可以看出:连接在铝层上的栅极G(导体)与P型衬底(导体)之间有一层绝缘介质(二氧化硅),因此,其结构相当于一个平板电容器的结构。当栅极电压 U_{GS} 为正电压时(栅极接电源正极,源极接电源

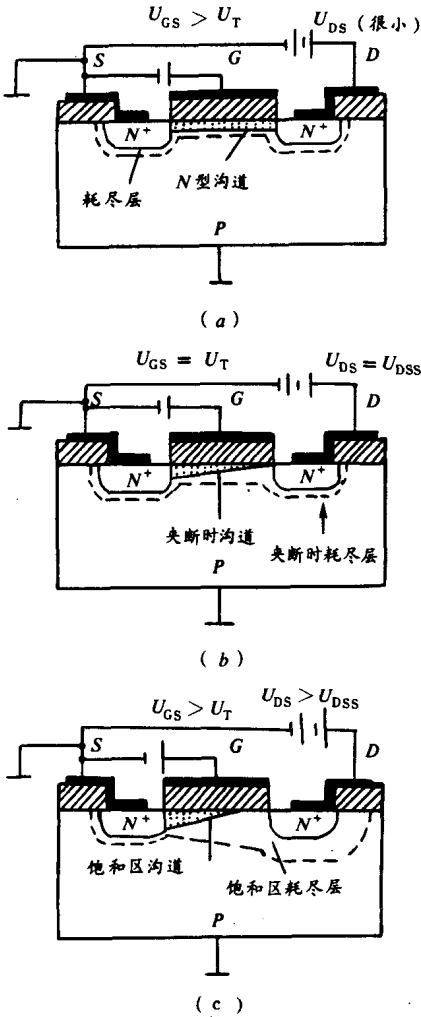
负极),则金属栅极被充电而聚集正电荷,正电荷建立起一个垂直于P型衬底的电场,由于绝缘层约 $0.1\mu m$ 厚,因此,即使只有几伏的栅源电压,也可以产生约百万伏每厘米($10^6 V/cm$)数量级的电场强度。

当栅源电压 U_{GS} 小于开启电压(临界电压) U_{th} 时,则正电荷建立的电场只能排斥靠近二氧化硅界面的P型衬底的空穴,形成耗尽层(耗尽层)。当 $U_{GS} > U_{th}$ 时,由于正电荷形成的电场足够强,正电场不仅排斥P型衬底中的多数载流子(空穴),而且还把P型衬底中的少数载流子(电子)吸引到二氧化硅的界面附近,形成N型区薄层(负离子层加负电荷区),其结果,在两个 N^+ 区之间、与二氧化硅交界的衬底已不是P型区而是N型区了,此N型区与原来的P型区相反,故称其为反型层。这种N型薄层就是漏极与源极之间的N型沟道。此N型沟道是由栅源正电压感应生成的,因此,又称其为感生沟道。感生沟道(反型层)的出现,使两个 N^+ 区之间的、二氧化硅界面附近的PN结消失,并在漏极和源极之间搭起N型沟道的桥梁。由于N型沟道的电阻很小,故在漏源正电压 U_{DS} 的作用下,电子就会经源极流向漏极,或者说,正电荷会经漏极流向源极。显然,在相同的漏源电压下, U_{GS} 越大,N型沟道就越厚,沟道电阻就越小,漏极电流就越大。

这种当 $U_{GS} = 0$ 时没有感生沟道,只有当栅

图1—12 $U_{GS} > U_T$ 时, U_{DS} 对导电沟道的影响

源电压的绝对值大于开启电压绝对值时 $|U_{GS}| >$



$|U_{th}|$ ，才形成感生沟道，并且，感生沟道的增厚（增强）随着 U_{GS} 绝对值的增加而几乎成正比地增加。这种类型的场效应管被称为增强型场效应管。它包括 N 沟道增强型场效应管（已经介绍）和 P 沟道增强型场效应管（下面即将介绍）。

U_{th} 是一个重要的物理概念：对于绝缘栅场效应管，在漏源电压的作用下，开始导电时的栅源电压 U_{GS} 被称为开启电压（又叫阈值电压）。从漏极电流 I_D 随着栅源电压 U_{GS} 变小并可能截止的方向去理解， U_{th} 又被称为栅源截止电压。又因 U_{th} 绝对值与该 MOS 管的夹断电压 U_P （下面将介绍）的绝对值是相等或相近的，因此， U_{th} 的绝对值又被称为夹断电压。在电子工程计算中，对于开启电压 U_{th} 、栅源截止电压 $U_{GS(off)}$ 及夹断电压 U_P ，如果不严格区分它们在绝对值上的微小差别，可以把它们看成是同一物理量值。

当栅源电压 $U_{GS} > U_{th}$ 时， N 型沟道已经形成。外加漏源电压 U_{DS} 大于零并很小时（ $< U_{th}$ ），则沟道自左至右近似等宽，如图 1—12 (a) 所示。此时，可以把 N 型沟道看成是一个阻值基本固定的电阻器，所以，漏极电流 I_D 几乎与漏源电压 U_{DS} 成正比地增减。

当栅源电压 $U_{GS} > U_{th}$ 时，并且，漏源电压 U_{DS} 等于饱和电压 U_{DSS} 时，沟道在漏极附近出现夹断，即沟道在漏极附近变得极薄，沟道就平面而言由距形变成楔形，楔形的尖端便是夹断点，如图 1—12 (b) 所示。当 U_{GS} 确定时， I_D 达到最大值，几乎不随 U_{DS} 的增大而增大，因此，这时的 I_D 被称为漏极饱和电流，并用 I_{DSS} 表示。对于每种型号的场效应管， U_{GS} 不同，其 I_{DSS} 也不同，产品说明书上均介绍了 I_{DSS} 的最大值。 I_{DSS} 对应的饱和电压 U_{DSS} 就是夹断电压 U_P 。 U_P 的最大绝对值等于开启电压 U_{th} 的绝对值。

当栅源电压 $U_{GS} > U_{th}$ ，而 $U_{DS} > U_{DSS}$ (U_P) 时，极薄的夹断点向着源极方向延伸，点变成线，就是说，就平面而言，沟道在夹断区内极窄，变成了一根线。当 U_{GS} 一定时， U_{DS} 越大，沟道线越长，即电阻越大，因此， I_D 几乎保持不变，如图 1—12 (c) 所示。显然，夹断并不意味着不存在沟道及 I_D 为零，而是意味着，沟道变得极窄， I_D 几乎达到最大值。

② P 沟道增强型 MOS 场效应管

其基本结构如图 1—13 (a) 所示。在一块掺杂浓度较低的 N 型硅片（衬底）上，通过工艺的方法形成两个高掺杂浓度的 P 型区（用 P^+ 表示）。其中，通过金属铝引出的电极为漏极 D ，另一根对称的电极为源极 S 。然后，在两个 P^+ 区之间的 N 型衬底的表面设法覆盖一层二氧化硅的绝缘薄层，再在二氧化硅的表面镀一层铝膜，自铝膜引出的电极为栅极 G 。不难看出， P 沟道增强型 MOS 管与 N 沟道增强型 MOS 管的结构相似，所不同的是：前者衬底为 N 型硅片；后者衬底为 P 型硅片。前者漏极和源极区为 P^+ 型；后者漏极和源

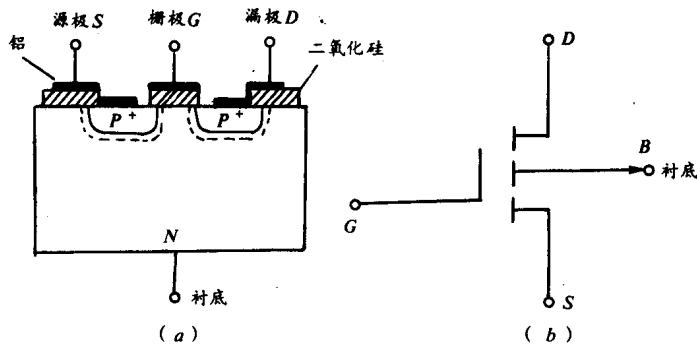


图 1—13 P 沟道增强型 MOS 场效应管结构与电路符号

极区为 N^+ 型。前者可感应生成 P 沟道；后者可感应生成 N 沟道。

当各极引脚未接电压时，漏极与源极之间的空间是由两个背靠背的 PN 结及两个 PN 结之间的 N 型电阻体组成的。这也与 N 沟道增强型的类似。

当漏极接电源负极，源极接电源正极、 N 型衬底和栅极 G 时，则漏极与源极之间的空间是 1 个自然 PN 结加 N 型衬底电阻体加 1 个反向 PN 结（漏极处）组成的。反向 PN 结的耗尽层很厚，绝缘电阻在数百千欧以上，因此，漏极电流 I_D 几乎为零，故其空间不导电。

当漏极接 E_D 的负极，栅极接 E_{GS} 的负极，源极接 E_D 的正极、 E_{GS} 的正极、 N 型衬底时，在栅源电压足够负 (U_{GS} 的绝对值 $> U_{th}$ 的绝对值) 时，则栅极—二氧化硅绝缘层— N 型衬底等三层结构便产生电容器效应：金属栅极与二氧化硅的界面充电并聚集负电荷，由负电荷建立的垂直电场，排斥二氧化硅下面的、两个 P^+ 区之间 N 型衬底的电子，形成正离子层（耗尽层），当 $|U_{GS}| > |U_{th}|$ 时，负电场足够强，不仅会把电子赶走，而且还会吸引相当数量的空穴（带正电荷的载流子）聚集到两个 P^+ 区之间， U_{GS} 越负，聚集的正电荷越多。其结果，二氧化硅与 N 型衬底的界面便转化成 P 型区（正离子加空穴层），如图 1—14 所示。

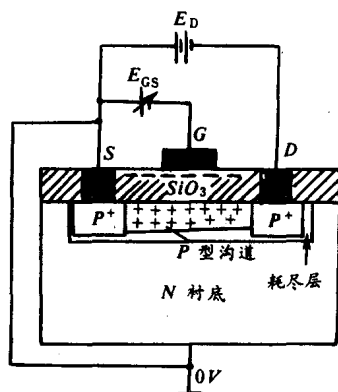


图 1—14

这个由静电感应生成的 P 型区，在两个 P^+ 区之间搭起 P 型沟道的桥梁，同时建立起新的 PN 结层（耗尽层）。此时，在漏源电压 U_{DS} 的作用下，空穴就会经源极通过 P 型沟道流向漏极，在外电路产生负的漏极电流 I_D ， $-I_D$ 自管内流向管外，与其符号中的衬底的箭头方向一致 [见图 1—13(b)]。显然， U_{GS} 越负， P 型沟道越厚， $-I_D$ 的绝对值越大（其中的负号仅表示电流方向）。就物理概念而言，当 $|U_{GS}| > |U_{th}|$ ， U_{DS} 足够大时，则 $|U_{GS}|$ 与 $|I_D|$ 几乎成正比例地增加，故称其为 P 沟道增强型场效应管。

综上所述，就其结构和原理而言， P 沟道与 N 沟道增强型场效应管均相似，所不同的是： P 沟道管的衬底是 N 型，源极区、漏极区和沟道均为 P 型，漏源和栅源电压均为负电压，漏极电流方向自管内流向管外，即 I_D 为负值，符号中衬底的箭头向外； N 沟道的衬底是 P 型，源极区、漏极区和沟道均为 N 型，漏源和栅源电压均为正电压，漏极电流方向自管外流向管内，即 I_D 为正值，管子符号中衬底的箭头向内。

③ N 沟道耗尽型 + 增强型绝缘栅场效应管

就工作原理而言，可把绝缘栅场效应管分增强型、耗尽型加增强型两类。对其中每一类型，根据沟道中多数载流子的性质，又可以被分为 N 型沟道和 P 型沟道两类。下面仅介绍 N 沟道耗尽型加增强型场效应管的结构和原理。

N 沟道耗尽型加增强型的结构与 N 沟道增强型的相同。前面已说过：对于增强型 IGFET（绝缘栅场效应管），当栅源电压 $U_{GS} = 0$ 时不出现导电沟道，故 $I_D \approx 0$ ，只有当栅源电压 U_{GS} 的绝对值 $|U_{GS}|$ 大于开启电压 U_{th} 的绝对值 $|U_{th}|$ 时，才出现导电沟道，才有可能形成漏极电流 I_D 。

对于 N 沟道耗尽型加增强型场效应管，制造时，在二氧化硅绝缘层中掺有大量的带正电荷的正离子，因此，即使栅源电压 $U_{GS} = 0$ 时，由于正电荷的静电感应作用，能在漏极和源极之间的 P 型衬底上感应出较多的自由电子，形成 N 型沟道，搭起 N 型沟道的桥梁，将

两个 N^+ 区 (漏极和源极) 连通起来。因此, 当漏极接电源正极, 源极接电源负极, 并且, $U_{GS}=0$ 时, 也有较大的漏极电流 I_D , I_D 由漏极经 N 型沟道流向源极。这一点与耗尽型管类似。另外, 当 $U_{GS}<0$ 时, N 型沟道变窄, I_D 减小, 当栅源负电压负到一定数值时 ($U_{GS}=U_{GS(off)}$), N 型沟道消失, I_D 为零。这一点也与耗尽型管类似。当 $U_{GS}>0$ 时, N 型沟道变厚, 在相同漏源电压条件下, I_D 明显变大。这类似于增强型场效应管。所以, 当 $U_{GS}=0$, 而 $I_D\neq 0$, 并且, 在一定的范围内, 栅源电压可为正值, 也可以为负值, 这类场效应管被称为耗尽型加增强型绝缘栅场效应管。

P 沟道耗尽型加增强型场效应管与 N 沟道的比较而言, 其结构和工作原理类似。就其结构而言, 所不同的是: 漏极区和源极区均为 P^+ 型, 衬底为 N 型, 二氧化硅绝缘层中掺了许多负离子, 其静电感应生成的沟道是 P 型沟道, 因此, 在使用时, 各极电位完全与 N 型沟道的相反, 即漏极接电源负极, 源极接电源正极, 栅源电压为正电压。

④绝缘栅型场效应管小结

a. 其栅极 G 与衬底 B 、导电沟道绝缘。其导电沟道是由静电感应生成的, 因此, 又称其为感生沟道。

b. 栅极与导电沟道的绝缘层, 可以是二氧化硅 (MOS 管), 可以是氮化硅 (MNS 管)、也可以是氧化铝 ($MALS$ 管), 其绝缘电阻在 $G\Omega$ (10 亿欧) 以上, 并且, 绝缘层很薄 (微米级), 因此, 栅极上感应的静电电压易击穿绝缘层。所以, 在贮藏绝缘栅场效应管时, 各引脚之间必须短路 (如用裸导线将其捆在一起。焊接时, 电烙铁金属外壳必须接地线, 以屏蔽交流电场, 防止管子被损坏 (这一点适用于所有的晶体管)。另外, 最好断开电烙铁的电源, 利用电烙铁的余热焊接。

c. 绝缘栅场效应管被分为 4 种类型: P 沟道增强型、 N 沟道增强型、 P 沟道增强型加耗尽型、 N 沟道增强型加耗尽型。对于 N 沟道绝缘栅型管, 在一定的范围内, 栅源电压 U_{GS} 均可在大于零的正电压条件下工作, 而且, 无栅流 (或者说, 几乎无栅流)。而 N 沟道耗尽型 (结型) 管, 当 $U_{GS}>0$ 时, 将使 PN 结处于正向偏置而产生较大的栅流, 从而破坏了栅极电压对漏极电流的控制作用, 因此, N 沟道结型管不能在栅源电压大于零的条件下工作。

d. 有的将衬底引出, 因此, 有 4 只引脚。 N 沟道 P 衬底者, 则 P 衬底接低电位; P 沟道 N 衬底者, N 衬底接高电位。对于衬底引出的管子, 漏极和源极是对称的, 因此, 漏极和源极可以对调使用 (也适用于结型场效应管)。但是, 当衬底在管内和源极连接在一起时, 漏极和源极不能对调使用。

e. 就绝缘栅型场效应管的符号而言, 凡是衬底的箭头方向指向管子内部的为 N 沟道型, 且电流 I_D 和电压 U_{DS} 为正值; 凡是箭头方向指向管子外部的均为 P 型沟道, 且电流、电压均为负值。其箭头主要表示漏极电流 I_D 的方向: 指向管内的, I_D 为正值; 指向管外的 I_D 为负值。这与双极型晶体管的电流的正负值的规定是一样的。显然, 只要知道了其符号中衬底的箭头方向, 就能知道沟道类型、漏极电流 I_D 和漏源电压 U_{DS} 的极性。再者, 对于场效应管的符号, 凡是漏极、衬底、源极三者连接在一条线段上的是耗尽型加增强型场效应管; 凡是漏极、衬底、源极三者连在断开的短线段上的是增强型场效应管。显然, 场效应管的符号给我们提供了如下信息: 是结型还是绝缘栅型; 是 N 沟道还是 P 沟道; 是增强型还是耗尽型加增强型; I_D 和 U_{DS} 是正值还是负值; I_D 流进管内还是流出管外。

f. 就转移特性而言: 增强型的 $U_{GS}=0$ 时, $I_D=0$ 。 N 沟道增强型的开启电压 U_{th} 为正