ICS 07.030
CCS L 90

中华人民共和国国家标准

GB/T 44004—2024

纳米技术
有机晶体管和材料表征试验方法

Nanotechnologies—Test methods for the characterization of organic transistors and materials

（IEC 62860:2013，Test methods for the characterization of organic transistors and materials，MOD）

2024-04-25 发布　　2024-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅳ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语、定义和缩略语 …… 1
3.1　术语和定义 …… 1
3.2　缩略语 …… 4
4　电学特性通则 …… 4
4.1　测试仪器 …… 4
4.2　测试技术 …… 4
4.3　重复性和报告样本量 …… 5
4.4　低噪声技术的应用 …… 5
5　标准 OFET 表征程序 …… 5
5.1　OFET 表征过程指南 …… 5
5.2　电气测量 …… 7
6　报告 …… 9
6.1　简易报告 …… 9
6.2　器件结构的报告 …… 9
6.3　器件迁移率的测定和报告 …… 10
6.4　开关比的测定和报告 …… 11
6.5　介电常数的测定和报告 …… 11
6.6　环境条件的报告 …… 11
6.7　其他可报告参数 …… 11
参考文献 …… 13

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件修改采用IEC 62860：2013《有机晶体管和材料表征试验方法》。

本文件与IEC 62860：2013相比做了下述结构调整：

——第1章对应IEC 62860：2013中的1.1；

——增加了第2章规范性引用文件；

——第3章对应IEC 62860：2013中的第2章；

——调整了3.1中术语和定义的编排顺序，以符合术语条目按照概念层级分类和编排的原则；

——第4章对应IEC 62860：2013中的1.3；

——第5章对应IEC 62860：2013中的3.2～3.3；

——6.1对应IEC 62860：2013中的3.4.1；

——6.2对应IEC 62860：2013中的3.1；

——6.3～6.5对应IEC 62860：2013中的3.4.2～3.4.4；

——6.6对应IEC 62860：2013中的3.4.5；

——6.7对应IEC 62860：2013中的3.4.6；

——参考文献对应IEC 62860：2013中的附录A。

本文件与IEC 62860：2013的技术差异及其原因如下：

——删除了IEC 62860：2013中1.2“目的”，以符合GB/T 1.1—2020中的规定；

——将IEC 62860：2013中2.1引导语的第二句改为注，以符合GB/T 1.1—2020中的规定（见3.1）；

——删除了术语“开启电压”“底接触器件”“底栅器件”“顶接触器件”“顶栅器件”“激励电压”“大地接地”“电磁干扰/射频干扰”“亚阈值摆幅”，因为本文件中这些术语仅使用了一次；

——删除了缩略语EMI、IEEE、NIST、OET、OST、PFET、RFI和UV，因为本文件未使用这些缩略语。

本文件做了下列编辑性改动：

——为与现有标准协调，将标准名称改为《纳米技术　有机晶体管和材料表征试验方法》；

——增加了公式(1)～公式(5)中符号的说明及单位；

——由于IEC 62860：2013中的附录B不适用于本文件，删除了资料性附录B。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国纳米技术标准化技术委员会(SAC/TC 279)归口。

本文件起草单位：深圳市德方纳米科技股份有限公司、国家纳米科学中心、深圳大学、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、中国科学院微电子研究所、深圳市德方创域新能源科技有限公司、中国计量大学。

本文件主要起草人：孔令涌、葛广路、翟永彪、高洁、宋志棠、夏洋、王远航、孙言、陈小刚、金青青、邱志平、裴现一男、陈心怡、何萌、张淑琴、钟丽坤。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

引　言

本文件涵盖了有机晶体管电学特性表征的推荐方法和报告要求。由于有机晶体管的特性，如果操作不当，会引入较大的测量误差。本文件描述了常见的测量误差来源，并给出了推荐的操作方法，以最小化和/或表征每种测量的影响。

为了使分析报告数据规范化，本文件还给出了报告要求，包括环境条件和样本量的描述，以便研究人员可恰当地评估结果。这些报告要求还支持结果的可重复性分析，以便更有效地确认新的发现。

本文件旨在促进有机晶体管从实验室向产业化发展。标准化的表征方法和报告要求为信息的有效比较提供了一种手段，并为生产制造奠定了基础。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

纳米技术
有机晶体管和材料表征试验方法

1 范围

本文件描述了一种表征有机晶体管的方法，包括测量技术、数据报告方法和表征过程的测试条件。

本文件适用于有机晶体管的电学特性测量。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

注：对于本条中未定义的术语参考 IEEE 100。

3.1.1

源极 source

电流由半导体沟道的电导率控制的器件电极。

注：器件内的所有电压通常以源极上的电压为参考。

3.1.2

漏极 drain

电流由半导体沟道的电导率控制的器件电极。

注：漏极通常与源极是相同的。漏极相对于源极的偏压符号取决于多数载流子的性质。偏压对电子而言更正，对空穴而言更负。

3.1.3

栅极 gate

施加电压后能够控制流经源极和漏极之间的半导体沟道电流的器件电极。

3.1.4

块体 bulk

与衬底的电气连接。

注：通常仅在器件测试时通过接地平台对块体施加偏置电压。通过衬底的电流通常忽略不计，因此大多数情况下，在器件工作过程中不会对块体施加电压。但是，在单个器件测试过程中需验证电流是否忽略不计。由于大多数的有机场效应晶体管(OFET)都位于绝缘衬底上，因此通常会忽略块体的电学特性。

3.1.5

特性 characteristic

栅源电压(3.1.10)不变时，漏源电流(3.1.16)与漏源电压(3.1.9)之间的关系。

注：见输出特性曲线(3.1.8)。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

3.1.6

转移特性　transport property

$I_{DS}-V_{GS}$

能够控制通过材料或器件自身电荷的行为的物理特征。

3.1.7

转移特性曲线　transfer curve

当栅极电压以跨步电压递增的方式从起始电压扫到终止电压时，测量漏极电流的变化的关系曲线。

注：见跨导(3.1.21)。

3.1.8

输出特性曲线　output curve

栅源电压(3.1.10)不变时，漏源电流(3.1.16)与漏源电压(3.1.9)的关系曲线。

注：见特性(3.1.5)。

3.1.9

漏源电压　drain-source voltage

V_{DS}

在漏极和源极之间测得的电压。

3.1.10

栅源电压　gate-source voltage

V_{GS}

在栅极和源极之间测得的电压。

3.1.11

源极电源电压　source-source voltage

V_{SS}

系统接地参考的源极电压。

3.1.12

阈值电压　threshold voltage

V_T

由转移特性(I_{DS}-V_{GS})曲线得到的形成沟道所需的最小栅极电压。

3.1.13

泄漏电流　leakage current

流经栅极电介质的电流。

注：见栅源电流(3.1.14)。

3.1.14

栅源电流　gate-source current

I_{GS}

通过栅极测得的电流。

注：见泄漏电流(3.1.13)。

3.1.15

栅极泄漏电流　gate leakage

从栅极通过栅极电介质和有机半导体流向源极和漏极的不良电流。

3.1.16

漏源电流　drain-source current

I_{DS}

通过漏极测得的电流。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

3.1.17

寄生电容　stray capacitance

器件内任何不需要的层间或界面电容。

注：寄生电容通常会妨碍器件性能，并且可能造成测量误差。

3.1.18

栅漏电容　gate-drain capacitance

C_{GD}

栅极和漏极之间测得的电容。

3.1.19

栅源电容　gate-source capacitance

C_{GS}

栅极和源极之间测得的电容。

3.1.20

电导　conductance

g_s

输出特性曲线的斜率。

注：表示为公式(1)：

$$g_s = \frac{\partial I_d}{\partial V_d} \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

g_s ——电导，单位为西门子(S)；

I_d ——漏极电流，单位为安培(A)；

V_d ——漏极电压，单位为伏特(V)。

3.1.21

跨导　transconductance

g_m

转移特性曲线的斜率。

注：表示为公式(2)：

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

g_m ——跨导，单位为西门子(S)；

I_{DS} ——漏源电流，单位为安培(A)；

V_{GS} ——栅源电压，单位为伏特(V)。

3.1.22

驻留时间　dwell time

从开始施加测量电压到记录测量时间之间的持续时间。

注：驻留时间用于最小化瞬态噪声引起的测量误差或调整扫描速度。

3.1.23

接地平台　ground chuck

放置被测器件的导电平台。

注：接地平台以系统接地为电气参考点。

3.1.24

系统接地　system ground

零电压参考或与仪器的“低端(LO)”连接。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

注：系统接地通常有别于大地接地。

3.1.25

环境条件　environmental condition

被测器件周围的真实或人为的环境条件。

注：测量时尽可能接近被测器件，并以对测试环境影响最小的方式进行。

3.1.26

场效应迁移率　field-effect mobility

μ

半导体材料多数载流子的迁移率。

注 1：场效应迁移率能够通过转移特性曲线中饱和区或线性区近似计算得到。

注 2：场效应迁移率的单位为平方厘米每伏特秒[$cm^2/(V \cdot s)$]。

3.1.27

开关比　on/off ratio

最大（“开”态）I_{DS}值与最小（“关”态）I_{DS}值的比值。

注：开关比由转移特性曲线测量得到，表征了器件将信号“开启”和“关闭”的能力。

3.1.28

半导体沟道　semiconductor channel

穿过半导体材料的源极和漏极之间的空间。

注：半导体沟道的电导率通过改变施加到栅极的电压来控制。

3.2　缩略语

下列缩略语适用于本文件。

FET：场效应晶体管（Field Effect Transistor）

OFET：有机场效应晶体管（Organic Field Effect Transistor）

RH：相对湿度（Relative Humidity）

4　电学特性通则

4.1　测试仪器

用于测试的电子器件测试系统具备至少±0.1%精度的测量灵敏度（低于预期信号水平 3 个数量级或以上的最小灵敏度）。例如，通过有机晶体管的最小电流通常是栅极泄漏电流。如果栅极泄漏电流约为 1 pA(10^{-12} A)，则仪器的分辨力应为 1 fA(10^{-15} A)或更小。此外，由于有机电子器件的阻抗较大[>1 TΩ(10^{12} Ω)]，因此测试系统所有元件的输入阻抗应至少比器件中的最高阻抗高出 3 个数量级。具有表征有机电子器件能力的商用半导体系统通常具有至少 1 PΩ(10^{15} Ω)的输入阻抗值。

本测试方法要求根据一组已知且恰当的标准样品对仪器进行校准。仪器校准可由仪器用户或仪器供应商执行。如果不使用已知的 OFET 或其他 FET 器件对仪器进行校准，则根据可溯源的方法对基本仪器操作（例如电压、电流和电阻）进行校准。当仪器发生了移动或测试条件发生显著变化时（例如，温度变化大于 10 ℃，RH 变化大于 30%），应按照仪器说明书对仪器重新校准。

4.2　测试技术

4.2.1　必要的测试

有机晶体管的表征应至少选取下列测试中的两组进行。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

a) 转移特性(I_{DS}-V_{GS})曲线,用于初步确定 μ 和 V_T。

b) 提供饱和区和常规电学特性信息的输出特性(I_{DS}-V_{DS})曲线,用于确定器件是否出现类似 FET 的行为。

c) 表征栅极电介质质量并量化从栅极到沟道的泄漏电流的栅极泄漏(I_{GS}-V_{GS})曲线。在转移特性或输出特性测试之前进行泄漏测试,以确保在进行后续测试之前栅极电介质层的完整性。有必要测试栅极泄漏电流,只有确保栅极泄漏电流相对于漏极电流可忽略不计时,才能测得可靠且有用的器件特性并提取出关键参数。

4.2.2 推荐的测试

宜进行寄生电容(C_{GD}和 C_{GS})的附加测试。寄生电容对器件开关速度存在负效应,可影响器件电学特性的表征。

4.3 重复性和报告样本量

由于制备工艺的差异,不同器件的性能可能会有所不同。此外,确定报告结果的可重复性也很重要。应按以下方式报告样本量:

a) 如果未报告样本量,则假定数据代表的样本量为 1(可能无法代表可重复的结果);

b) 对于大于 1 的样本量,报告样本量时附带取样方法(写明是对所有器件进行了表征,或是从总样本集中随机抽取一部分等)。

还应对报告的数据所表明的内容(平均值、极端情况等)进行描述。

4.4 低噪声技术的应用

通常,低的绝对栅极偏置电压会比高的绝对栅极偏置电压产生的应力效应更小,例如阈值电压的漂移。根据器件结构,通过将被测器件接入大地(安全接地)可减少漂移。通过低阻抗路径的系统接地可进一步减少漂移。

为了使不同的器件结构具有可比性并与纳米电子器件兼容,宜参考相应的沟道厚度和沟道长度设置电压。提供足够的信息,以便确定电场。理想情况下给出明确的电场值。

由于某些有机半导体材料具有光敏性,所有测量宜在接入大地(安全接地)的黑箱内进行。如果在光照和黑暗环境中的测量值相差超过 1%,宜进行光学屏蔽。

由于测量的阻抗高且电流值极低,在测量系统运行期间,宜尽量远离人员、重型机械或其他潜在的电磁干扰/射频干扰源。当测量电压低于 1 mV 或电流值小于 1 μA 时,这一点尤其值得注意。

5 标准 OFET 表征程序

5.1 OFET 表征过程指南

表 1、表 2 和表 3 列出了用于 OFET 器件电学特性表征的参数设置示例。注意,这些值仅作为一般指导原则,可能会因器件属性不同而存在较大差异。按照以下方式进行选择。

a) 步长足够小,每条曲线数据点至少有 10 个,宜有 25 个或更多。数据点数量的增加能够得到更精确的拟合曲线和更大的噪声/离群值容差,因此参数提取更加精确。以清晰的方式报告每次测量所用的点数(例如,起始值、终止值和步长值测量的点数等)。

b) 选择不同的栅极电压值,以给出至少 3 条 I_{DS}-V_{DS}曲线。宜给出 5 条或更多曲线。栅极电压值能反映完整的预期工作范围和/或展示完整的器件工作范围。

c) 最小驻留时间为 10 ms,每个数据点宜驻留 100 ms 或更长时间。驻留时间取决于器件和仪器

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

的阻抗值，场效应迁移率等因素。选择的驻留时间应足够长，以使瞬态效应不会对测量产生显著影响（小于最小稳态值的5%，宜小于1%）。

d) 所选值的范围能准确代表完整的器件工作范围。选择这些值是为了在完整的预期工作范围内展现器件行为。

每个电极（栅极、源极和漏极）使用一个探针，另外加一个与衬底（“块体”）电接触的屏蔽接地平台连接。如果任一沟道的测量电阻小于1 kΩ，则每个电极应使用两个探针（一个用于施加电流的“激励”电极，一个用于测量电压的“测量”电极）以最小化电极和界面的阻抗误差。

OFET响应可能会随着时间的推移而变得不稳定，有关器件不稳定的更多信息见5.2.2。

表1 p-沟道器件测量设置示例

单位为伏特

测量类型	V_{DS} 开始	V_{DS} 停止	V_{DS} 步长	V_{DS} 偏置电压	V_{GS} 开始	V_{GS} 停止	V_{GS} 步长	V_{SS} 偏置电压	块体
I_{GS}-V_{GS}	—	—	—	0	+20	−80	−1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#1	+20	−80	−1	—	−60	+20	+5	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#2	−80	+20	+1	—	+20	−60	−5	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#1	—	—	—	−1	+20	−80	−1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#2	—	—	—	−1	−80	+20	+1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#3	—	—	—	−40	+20	−80	−1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#4	—	—	—	−40	−80	+20	+1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#5	—	—	—	−60	+20	−80	−1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#6	—	—	—	−60	−80	+20	+1	0	0

表2 n-沟道器件测量设置示例

单位为伏特

测量类型	V_{DS} 开始	V_{DS} 停止	V_{DS} 步长	V_{DS} 偏置电压	V_{GS} 开始	V_{GS} 停止	V_{GS} 步长	V_{SS} 偏置电压	块体
I_{GS}-V_{GS}	—	—	—	0	−20	+80	+1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#1	−20	+80	+1	—	+60	−20	−5	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#2	+80	−20	−1	—	−20	+60	+5	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#1	—	—	—	+1	−20	+80	+1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#2	—	—	—	+1	+80	−20	−1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#3	—	—	—	+40	−20	+80	+1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#4	—	—	—	+40	+80	−20	−1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#5	—	—	—	+60	−20	+80	+1	0	0
I_{DS}-V_{DS}，#6	—	—	—	+60	+80	−20	−1	0	0

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

表 3　所有器件的寄生电容设置

测量类型	偏置电压 V_{Bias}	偏置电压频率 1 f_{Bias1}	偏置电压频率 2 f_{Bias2}	偏置电压频率 3 f_{Bias3}	偏置电压频率 4 f_{Bias4}	偏置电压频率 5 f_{Bias5}	偏置电压频率 6 f_{Bias6}	偏置电压频率 7 f_{Bias7}
C_{GD}	1 V	1 kHz	100 Hz	2 kHz	5 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz
C_{GS}	1 V	1 kHz	100 Hz	2 kHz	5 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz

5.2　电气测量

5.2.1　各种测量类型的原因和结果

5.2.1.1　转移特性曲线测量

场效应迁移率、阈值电压、开关比和跨导等性能参数可通过测试场效应晶体管的转移特性(I_{DS}-V_{GS})曲线获得。除了用于参数提取的转移特性曲线外，电路模型通常还需要至少一条输出特性曲线。

5.2.1.2　输出特性曲线测量

输出特性(I_{DS}-V_{DS})曲线可通过一次测量提供有关器件性能的最多数据。尽管输出特性曲线通常不能直接用于半导体转移特性的表征，但对于开发电路仿真和设计的器件模型必不可少。

5.2.1.3　栅极泄漏测量及其对漏极电流的影响

为了有效操作器件，应进行栅极泄漏(I_{GS}-V_{GS})测量以确保栅极和半导体沟道之间足够的电气隔离。此测量提供了可能会干扰晶体管性能的泄漏电流数据。要求漏极和源极都接地(V_{DS} = V_{SS} = 0 V)，扫描 V_{GS} 时测量 I_{GS}。理想情况下，从栅极到沟道的电流为零，但器件实际工作时会有小电流通过，此时 I_{GS} 宜远低于 I_{DS}，即 $I_{GS}<0.001\ I_{DS}$。

为确保泄漏电流不会明显抵消测得的漏极电流值，进行以下操作。

a)　应测量整个预期栅压下的栅极泄漏电流，并将其用于转移特性曲线和输出特性曲线的对比。

b)　在整个器件工作范围内，栅极泄漏电流的值应至少比漏极电流小 2 个数量级，器件处于“关”态时除外。

c)　泄漏电流较大的情况下(栅极泄漏电流超过漏极电流的 1%)，转移特性曲线和输出特性曲线测量结果以及由此计算出的任何参数都将产生较大误差，并且这些误差可能会在后续精确拟合数据中依然存在。如果存在较大的泄漏电流，可报告电学特性测量数据，但应给出完整的栅极泄漏数据。不应报告通过漏极电流计算得到的相关参数(例如 μ)。

d)　提取参数时(例如通过拟合转移特性曲线计算 μ 和 V_T)，有效数字位数应取决于栅极泄漏电流低于漏极电流的数量级。

注 1：即使在曲线拟合和参数计算过程中没有明显的误差，较大的栅极泄漏电流仍会人为增加 μ 的数值。尽管大的栅极泄漏电流可能会导致开关比降低，但是现有测量的开关比不会受到明显影响，例如非线性栅极泄漏电流导致的杂散肖特基接触或其他非线性效应情况。

注 2：确定有效数字的准则只用于报告有效数字总数允许的上限，可能会因其他因素而进一步减小，例如测量噪声、曲线拟合质量等。

5.2.2　偏置应力效应和其他方向相关现象

受寄生电容效应、潜在的偏置应力现象、杂质离子的迁移等因素影响，不同的偏置电压步进方向(即

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

朝向正值方向或负值方向)测量到的电学数据略有不同。这些现象会导致不同程度的结果偏差,可能仅导致阈值电压的漂移,也可能使其理想晶体管行为严重偏离,例如与栅极电压明显相关的迁移率或输出特性曲线中缺少饱和区域。从电流-电压曲线得出的参数(如场效应迁移率和阈值电压)会受到这些现象的显著影响。为了确定上述效应造成滞后性的程度,宜进行以下操作。

a) 每次均进行 2 次测量,先进行从“关”态(器件最有可能关闭的电压范围)到“开”态的测量,再进行从“开”态到“关”态的测量;
b) 在进行测量之前,器件处于空闲状态且无偏置(宜将 3 个端子通过低阻抗路径系统接地)至少 10 min,最大程度地减少将器件接入测量系统时产生的长寿命电光效应和先前测量引发的寄生电容充电效应;
c) 至少在一个频率下使用 1 Vrms 的激励电压来表征寄生电容值。如果仅使用一个频率,则在 1 kHz下表征寄生电容。其他推荐频率值见表 3。

5.2.3 电介质慢极化问题

电介质可能会极化或由于其他原因在目标频率范围内具有较大的色散。栅极电介质的慢极化可能会影响有机晶体管中电荷迁移率测量的准确性。慢极化会导致半导体中感应电荷的增加,造成迁移率偏高。由于介电常数或电容的测量是在 50 Hz~1 kHz 的频率范围内进行的,因此在一般情况下,确定单位面积的栅极电容(C_i)时不会考虑这种额外电荷。测量器件的电流输出特性(从中计算迁移率)可能需要几分钟时间,因此电容和迁移率是在两种完全不同的状态下进行测量的。

通常,电容值通过测量电介质厚度并使用介电常数的引用值(在选定的频率下确定,通常为 1 kHz)计算得到或直接测量电容(通常使用 50 Hz 或更高的频率)得到。晶体管的表征通常在百秒量级内进行,与测量电容在明显不同的频率范围内。慢极化效应可能出现在较大的时间尺度上,但在 50 Hz 时不会出现。因此介电常数的频率依赖性的一些概念有助于避免迁移率的错误测量。

a) 一种方法是使用阻抗分析仪来测量这类聚合物的低频阻抗特性。但是应小心复制在晶体管中的层的组成,以便考虑对这些层内的电荷运动产生影响的任何潜在的界面效应(例如,注入势垒、层间掺杂)。
b) 交流阻抗分析的另一种方法是在测量转移特性曲线时以更快的速率扫描栅极电压,然后与在较长时间尺度(例如 100 s)下测量的转移特性曲线相比,观察迁移率是否发生了较大变化。通过更改积分时间和/或使用更少的点可以减少扫描时间。虽然这种方法会影响测量的精确性,但可定性判断是否存在极化效应。

为了评估电介质极化对半导体的影响,宜进行以下一项或两项测试。

a) 设置晶体管栅极电压的扫描速率,保证迁移率是在总扫描时间覆盖一定范围(例如 100 s、10 s、1 s)的情况下进行测量。任何强极化效应都会在转移特性测量中发现。通常,在慢扫描速率下计算出的迁移率比在快扫描速率下更高,并且可覆盖较小的栅极电压范围,即,当以线性方式绘制跨导曲线时,迁移率具有更陡峭的峰值。需要注意的是,此方法只能定性确定是否存在强极化效应。快速扫描时,电流测量精度的降低将使迁移率测量的精度低于慢扫描时的精度,因此用这种方法量化强极化效应是不正确的。
b) 如果怀疑器件中存在电介质极化,可使用阻抗谱量化这种效应。制备一个与晶体管具有相同材料相同顺序的三明治夹层,并与频率分析仪连接。在器件上施加一个小的正弦信号(p-p 振幅约为 0.1 V),并记录相应的电流,其频率范围从跨导图中慢扫描的时间范围到单位面积电容的频率测量范围(或测量材料的介电常数的频率)。通过比较两种频率下的介电响应时间来确定有效电容是否会发生变化,从而确定是否存在迁移率的错误测量。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

6 报告

6.1 简易报告

表4列出了需要与电学特性数据一起报告的必要信息。表5列出了可接受的介电信息组合，这些组合使得其他两个参数可通过计算确定。报告这些参数应使用表4和表5所示的术语、符号和单位，同时还应标明器件测量和储存时的环境条件(见6.6)。

应报告用于参数提取的拟合曲线所用数据点数量。如有必要，还应报告曲线拟合质量的相关信息(例如可靠性系数 R)。

表4 与所有电学特性数据一起报告的参数列表

特性	符号	单位
沟道宽度	W	μm (<1 mm) mm (≥1 mm)
沟道长度	L	μm
电介质信息	见表5	见表5
器件温度	T	℃或K
环境相对湿度	RH	%
场效应迁移率	μ	$cm^2/(V \cdot s)$
阈值电压	V_T	V
开关比	I_{on}/I_{off}	无单位
注：应报告用于计算标记参数的技术(见6.3、6.4和6.5)。		

表5 可接受的介电信息组合

选项编号	单位面积电容C_i F/cm^2	电介质厚度 d μm或nm	相对介电常数 (无单位，在特定频率下)	测量频率 Hz
1	√	√	√	√
2	√	√	—	√
3	√	—	√	√
4	—	√	√	√
注：“√”表示该介电信息要提供，“—”表示不必提供。				

6.2 器件结构的报告

报告用于表征的器件结构，包括器件的几何结构、电极位置等。至少报告以下几何信息：

a) 栅极与衬底的关系(如底栅极或顶栅极)；

b) 源极、漏极与半导体和电介质的关系(如顶接触或底接触)；

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

c) 沟道长度和沟道宽度[单位为微米(μm)或毫米(mm)];

d) 电介质厚度[单位为纳米(nm)或微米(μm)]。

报告以下器件制造相关的信息:

a) 衬底组成;

b) 有机半导体的沉积工艺(例如真空沉积、旋涂和喷涂);

c) 电介质的沉积过程;

d) 电极的沉积过程。

沉积步骤之间所有的表面处理方式,包括促进有序化的化学界面剂(例如绝缘体和半导体之间的十八烷基三氯硅烷)、机械化(例如通过刷涂促进有序化)或使用的其他增强方法。

6.3 器件迁移率的测定和报告

为了尽可能提高测试方法的可重复性,应详细记录利用测试数据计算 μ 的方法。半导体材料中多数载流子迁移率主要通过器件的转移特性曲线获得。μ 可从转移特性曲线的饱和区或线性区近似计算得到。

在转移特性曲线的饱和区,μ 符合公式(3)中的近似:

$$I_{DS} \approx \frac{W}{2L} C_i \mu (V_{GS} - V_T)^2 \quad \cdots\cdots (3)$$

式中:

I_{DS} ——漏源电流,单位为安培(A);

W ——沟道宽度,单位为微米(μm);

L ——沟道长度,单位为微米(μm);

C_i ——单位面积电容,单位为法拉每平方厘米(F/cm^2);

μ ——场效应迁移率,单位为平方厘米每伏特秒[$cm^2/(V \cdot s)$];

V_{GS} ——栅源电压,单位为伏特(V);

V_T ——阈值电压,单位为伏特(V)。

通过在饱和区的 $I_{DS}^{1/2}$-V_{GS} 曲线上做切线,根据切线斜率可获得 μ。

在转移特性曲线的线性区,μ 符合公式(4)中的近似:

$$I_{DS} \approx \frac{W}{L} C_i \mu (V_{GS} - V_T) V_{DS} \quad \cdots\cdots (4)$$

式中:

I_{DS} ——漏源电流,单位为安培(A);

W ——沟道宽度,单位为微米(μm);

L ——沟道长度,单位为微米(μm);

C_i ——单位面积电容,单位为法拉每平方厘米(F/cm^2);

μ ——场效应迁移率,单位为平方厘米每伏特秒[$cm^2/(V \cdot s)$];

V_{GS} ——栅源电压,单位为伏特(V);

V_T ——阈值电压,单位为伏特(V);

V_{DS} ——漏源电压,单位为伏特(V)。

其中,V_{DS} 应$\ll (V_{GS}-V_T)$,近似值的导数等于转移特性曲线的斜率(在线性区域中的 V_{DS} 处得出)。在线性区域中,可通过使用转移特性曲线的斜率和公式(4)的微分来计算 μ,见公式(5)。当引用 μ 时,应在 $V_{DS} \ll (V_{GS}-V_T)$ 的情况下(对于 p 型器件)采用该值。如果 μ 与栅极电压表现出强相关性(>10%),则 μ 应通过转移特性曲线中与漏极电流相对的第二坐标轴来表示。

$$\mu = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_G} \frac{L}{W C_i V_{DS}} \quad \cdots\cdots (5)$$

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

式中：

μ ——场效应迁移率，单位为平方厘米每伏特秒［$cm^2/(V \cdot s)$］；

V_G ——栅极电压，单位为伏特(V)；

I_{DS} ——漏源电流，单位为安培(A)；

L ——沟道长度，单位为微米(μm)；

W ——沟道宽度，单位为微米(μm)；

C_i ——单位面积电容，单位为法拉每平方厘米(F/cm^2)；

V_{DS} ——漏源电压，单位为伏特(V)。

6.4 开关比的测定和报告

为了尽可能提高可重复性，应详细说明利用测试数据计算器件开关比的方法。开关比通常为转移特性测量过程中获得的最大 I_{DS} 值与最小 I_{DS} 值之比。需要注意的是，转移特性测量过程中使用不同的 V_{DS} 值可能获得不同的开关比，通常只报告获得的最大开关比。宜在报告中给出获得开关比所对应的 V_{DS} 值和器件尺寸。

6.5 介电常数的测定和报告

测量栅极绝缘体介电常数的方法会明显影响测量结果，因此，介电常数的变化会影响器件 μ 和 V_T。介电测量通常采用平行板电容法，复阻抗是在指定频率下测量的。当介电常数值随频率显著变化时，介电常数也可通过频率的函数确定(见 5.2.3)。

在报告中详细说明介电常数以及测试频率。但是，由于有机电子器件通常在 100 Hz 或更低的频率下工作，如果该值与所报告的值(即 1 kHz)相差超过 10%，则宜报告介电常数随频率的变化情况(宜在报告时提供介电常数与频率的关系曲线)。

6.6 环境条件的报告

器件存储和表征过程中的环境条件应与所有电学特性数据一起报告。

器件存储的环境条件会显著影响器件性能，应报告器件从制造到测量期间的存储条件。存储和测试环境的变化可能导致器件性能的显著变化，为了更好地比较或验证数据，应详细记录器件从制造到表征过程的存储和测量环境。

测量器件时，宜监测并记录环境条件，至少记录每次实验开始和结束时的环境条件。宜实时记录环境状况，并记录每个数据点。

应监测和记录以下环境条件：

a) 测量气氛(例如空气、氮气、真空等)；

b) 光照条件、光照时间(例如，黑暗、紫外线隔绝情况等)以及光照条件的变化(例如在曝光后和电学特性测量之前将样品放置在黑暗环境中的时长)；

c) 器件温度(测量分辨力至少为 1 ℃或 1 K，宜为 0.1 ℃或 0.1 K)；

d) RH(最小分辨力为 5%，宜为 1%)；

e) 测量持续时间、测量时间(以评估由于长寿命效应导致的测量失真)。

6.7 其他可报告参数

表 6 列出了可与电学特性数据一起报告的其他参数。报告这些参数应使用表 6 所示的术语、符号和单位。

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

表 6　可与电学特性数据一起报告的其他参数

特性	符号	单位
亚阈值摆幅	S	V/dec
跨导	g_m	S
栅极电介质的损耗角正切值	δ	弧度或角度

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

参 考 文 献

[1] IEEE 100,The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms, Seventh Edition, New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

粉体圈 www.360powder.com 标准下载

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
纳米技术
有机晶体管和材料表征试验方法
GB/T 44004—2024
*
中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)
网址:www.spc.net.cn
服务热线:400-168-0010
2024 年 4 月第一版
*
书号:155066·1-76129

版权专有 侵权必究

GB/T 44004-2024

粉体圈 www.360powder.com 标准下载