

# 0LED 用有机材料迁移率测量方法

Mobility measurement method of organic materials for organic light-emitting diodes

(征求意见稿)

2024-xx-xx 发布

2024-xx-xx 实施



前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试原理	1
5 测试方法	3
5.1 测试条件	3
5.2 测试仪器	3
5.3 样品设计	4
5.4 样品制备	5
5.5 测试步骤	5
5.6 结果计算	5
6 测试报告	6

目 次

## 

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。请注意本文件的内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电子视像行业协会和国家新型显示技术创新中心共同提出并归口,由新型显示产业技术创新战略联盟组织起草。

本文件起草单位:季华实验室、吉林省元合电子材料有限公司、华南理工大学、吉林奥来德光电材 料股份有限公司、浙江华显光电科技有限公司、东莞伏安光电科技有限公司、季华恒烨(佛山)电子材 料有限公司、维信诺科技股份有限公司、上海天马微电子有限公司、广州新视界光电科技有限公司、国 家新型显示技术创新中心。

本文件主要起草人:王志恒、毕海、宋小贤、王悦、陈启燊、刘宇、张军、马东阁、王磊、马晓宇、 王铁、赵晓宇、彭沣、王香、熊志勇、邹建华、刘海坤、庄佳庆

## 0LED 用有机材料迁移率测量方法

## 1 范围

本文件规定了用于有机电致发光二极管(organic light-emitting diode, OLED)的有机材料载流子迁 移率测量方法。

本文件适用于载流子迁移率范围在10<sup>-6</sup>~10<sup>-2</sup> cm<sup>2</sup>/V s的OLED用有机材料测量。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文

件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14264-2009 半导体材料术语

GB/T 36919-2019 有机发光二极管照明术语和文字符号

## 3 术语和定义

GB/T 36919-2019 和 GB/T 14264-2009 界定的及以下术语和定义适用于本文件

3.1

## 厚度差 difference of thickness

用于测量迁移率的两个有机电致发光器件,其待测迁移率的有机层厚度差值。

3. 2

## 瞬态发光时间差 difference of transient luminescent time

用于测量迁移率的两个有机电致发光器件,瞬态发光信号上升沿10%强度对应的时间差值。

3.3

驱动电压差 difference of driving voltage

用于测量迁移率的两个有机电致发光器件,器件电极两端的电压差值。

#### 4 测试原理

图 1 为用于 OLED 的有机材料迁移率测量原理图



图 1 测量有机半导体薄膜迁移率的原理图

对于厚度均匀的有机半导体薄膜,有机半导体薄膜迁移率的定义为载流子在单位电场强度下的平均 漂移速度,即

$$\mu = \frac{d^2}{\tau \times V} \tag{1}$$

式(1)中,

d为待测迁移率的有机半导体薄膜的厚度;

τ为载流子通过有机半导体薄膜的平均时间;

V 为加载在有机半导体薄膜两端的电压。

图 2 为用于 OLED 的有机材料迁移率测量原理图



图 2 用于 OLED 的有机材料迁移率测量原理图

2

本测量方法是基于电致瞬态发光信号测量用于 OLED 的有机材料的迁移率,通过待测迁移率的有 机层在两个有机电致发光器件中设置厚度差,获得对应的瞬态发光时间差和电压差,从而计算有机材料 的载流子迁移率。其测试原理是设置包含待测迁移率有机材料的有机电致发光器件。将厚度分别为 d<sub>1</sub> 和 d<sub>2</sub>的待测迁移率有机层放置于两个除待测有机层之外结构一致的有机电致发光器件(定义为器件 D1 和器件 D2)中。根据有机半导体薄膜迁移率的定义,此时,有机材料载流子迁移率的定义为单位电场 强度下载流子通过待测迁移率的有机层厚度差部分的平均漂移速度,即

$$\mu = \frac{|d_1 - d_2|^2}{|\tau_{d_1} - \tau_{d_2}| \times |V_1 - V_2|} \tag{2}$$

式(2)中,

/d1-d2/为待测迁移率的有机层的厚度差;

/<sub>*t*<sub>d1</sub>-*t*<sub>d2</sub>/为器件 D1 和器件 D2 的瞬态发光时间差,该瞬态发光时间差代表载流子通过待测迁移率的 有机层差值部分所需时间;</sub>

/V1-V2/为器件 D1 和器件 D2 的驱动电压差。

## 5 测试方法

## 5.1 测试条件

#### 5.1.1 测试环境条件

在下列范围内的环境条件下进行测量:

- a)环境温度: 23±1℃;
- b)相对湿度: 25~85%;
- c) 大气压力: 86~106 kPa;

测量瞬态发光信号时有机电致发光器件需要在黑暗环境下进行,暗室条件为器件附近的环境照度应 小于 0.3 lx, 避免外界光对发光信号造成干扰。

#### 5.1.1 测试样品条件

用于测量迁移率的有机电致发光器件发生电流注入前的电流密度不高于 10<sup>-4</sup> mA/cm<sup>2</sup>,避免由于漏 电流导致瞬态发光信号时间和信号强度发生波动。

#### 5.2 测试仪器

5.2.1 椭偏仪

用于测量待测迁移率的有机层以及制备的有机电致发光器件各有机功能层的厚度。测量薄膜厚度的 分辨率不低于1Å, 膜厚测量误差在±1%以内。

## 5.2.2 波函数信号发生器

用于产生正向矩形脉冲电压信号驱动待测的有机电致发光器件。产生的脉冲电压信号上升沿时间不高于 50 ns,电压信号幅值不小于 10 V,幅值分辨率不低于 1 mV,信号频率上限不低于 1000 Hz。

T/CVIA XXX-2024

#### 5.2.3 数字源测量单元

用于以恒定电流驱动待测的有机电致发光器件,并测量器件电极两端的驱动电压。产生的恒定电流 分辨率不低于 10 nA,输出恒定电流误差在±1%以内,电压量程不小于 20 V;要求测量的驱动电压分辨 率不低于 4½位,测量电压误差在±1%以内。

## 5.2.4 瞬态光谱仪

用于采集有机电致发光器件的瞬态发光信号。通过同步信号使瞬态光谱仪与波函数信号发生器保持同步。瞬态发光信号的最高时间分辨率不低于 10 ns。瞬态发光信号的信噪比不低于 10<sup>3</sup>。

## 5.2.5 有机电致发光器件测试治具

用于放置有机电致发光器件并将脉冲电压信号输入至发光器件中。根据有机电致发光器件的电极图 案和基片大小定制设计,其接触电阻以及引线电阻总和不大于 20 Ω。

图 3 为用于迁移率测试的瞬态发光信号采集测试仪器连接示意图。



图 3 用于迁移率测试的瞬态发光信号采集测试仪器连接示意图 1一波函数信号发生器; 2一器件测试治具; 3一瞬态光谱仪

## 5.3 样品设计

设计用于迁移率测量的有机电致发光器件 D1 和器件 D2,其结构依次为阳极、空穴注入层、空穴 传输层、电子阻挡层、发光层、空穴阻挡层、电子传输层、电子注入层、阴极。当测量空穴迁移率时, 待测薄膜放置于空穴传输层;当测量电子迁移率时,待测薄膜放置于电子传输层。其中,器件 D1 和 D2 中待测迁移率的有机材料薄膜厚度分别为 d<sub>1</sub>和 d<sub>2</sub>,且 d<sub>1</sub>不等于 d<sub>2</sub>。除待测的有机电致发光材料薄 膜厚度存在差异外,两个有机电致发光器件的其余有机功能层和电极结构保持一致。

待测迁移率的有机材料薄膜的厚度推荐范围是 50~300 nm, 且厚度差推荐范围是 50~200 nm。发 光层厚度为 5 nm。

a)当测量电子迁移率时,需要注入器件的空穴先到达发光层而等待电子注入发光层。电子阻挡层的厚度是 10 nm,其空穴迁移率不小于 10<sup>-3</sup> cm<sup>2</sup>/V s。空穴传输层和空穴注入层的空穴迁移率不小于 10<sup>-2</sup>

 $cm^2/V s$ , 两者总厚度为 60 nm。空穴阻挡层的厚度推荐范围是 50~100 nm, 其电子迁移率不大于  $10^4 cm^2/V s$ ;

b)当测量空穴迁移率时,需要注入器件的电子先到达发光层而等待空穴注入发光层,此时空穴阻挡层的厚度是 10 nm,其空穴迁移率不大于 10<sup>-3</sup> cm<sup>2</sup>/V s,电子传输层和电子注入层电子迁移率不小于 10<sup>-2</sup> cm<sup>2</sup>/V s,两者总厚度为 30 nm,电子阻挡层的厚度推荐范围是 200~400 nm。

## 5.4 样品制备

根据 5.3 设计的器件 D1 和器件 D2 进行器件制备,制备器件所需的基板已预先制作有图案化的阳极阳极,基板采用异丙醇(2次)清洗,每一次清洗时间为 10 分钟。随后使用 80℃烘烤 3 小时干燥基板表面残余的溶剂和水分。采用紫外灯照射处理基板 10 分钟,随后转移至真空蒸镀腔室,在高真空环境(真空度不大于 10<sup>-4</sup> Pa)下制备包括有待测迁移率薄膜的有机电致发光器件,其中有机层薄膜的蒸镀速率推荐范围是 0.6~1.0 Å/s,阴极金属蒸镀速率推荐范围是 2.0~4.0 Å/s。

#### 5.5 测试步骤

#### 5.5.1 器件瞬态发光信号采集

采集器件 D1 和器件 D2 的驱动电压、瞬态发光时间步骤如下:

a)采用相同电流密度驱动器件 D1 和器件 D2,用数字源测量单元测量器件两端的驱动电压分别为 V1和 V2;

b)使用波函数信号发生器分别在器件 D1 和器件 D2 加载高电平为 V<sub>1</sub>和 V<sub>2</sub>,低电平为零的方波脉 冲电压信号。观察瞬态发光信号上升至平稳状态所需时间 T,脉冲电压信号的高电平脉冲宽度设定不小 于时间 T,脉冲宽度推荐范围是 10~2000 μs,频率设定不大于 1/2T,频率推荐范围是 10~1000 Hz。

c)采用瞬态光谱仪分别测量器件 D1 和器件 D2 的瞬态发光信号,获得器件瞬态发光时间 τ<sub>d1</sub> 和 τ<sub>d2</sub>。

### 5.5.2 不同电场强度的瞬态发光信号采集

通过设定不同组的电流密度  $J_n$  (其中 n 为正整数)驱动两个有机电致发光器件 D1 和器件 D2,根据 5.5.1 中的步骤测量不同电流密度下的器件瞬态发光时间  $\tau_{d1n}$  和  $\tau_{d2n}$ 。

#### 5.6 结果计算

根据器件 D1 和器件 D2 在电流密度  $J_n$  驱动时的瞬态发光时间  $\tau_{dln}$ 和  $\tau_{d2n}$ ,其中 n 为正整数,计算得 到器件 D1 和器件 D2 瞬态发光时间差 $\Delta \tau_n$ ,

$$\Delta \tau_n = \tau_{d1n} - \tau_{d2n} \tag{3}$$

根据器件 D1 和器件 D2 在电流密度  $J_n$  驱动时的驱动电压  $V_{1n}$  和  $V_{2n}$ ,以及待测有机材料薄膜的厚度  $d_1$ 和  $d_2$ ,计算得到待测有机材料薄膜差值部分的电场强度  $E_n$ ,

$$E_n = \frac{|V_{1n} - V_{2n}|}{|d_1 - d_2|} \tag{4}$$

设定不同组的电流密度 *J*<sub>1</sub>、*J*<sub>2</sub>…*J*<sub>n</sub>,器件 D1 和器件 D2 相应的驱动电压为 *V*<sub>11</sub> 和 *V*<sub>21</sub>、*V*<sub>12</sub> 和 *V*<sub>22</sub>…*V*<sub>1n</sub> 和 *V*<sub>2n</sub>, 计算得到电场强度分别为 *E*<sub>1</sub>、*E*<sub>2</sub>…*E*<sub>n</sub>,其中 n 为正整数。

5

根据器件 D1 和器件 D2 在电流密度  $J_n$  驱动时器件两端的驱动电压  $V_{1n}$  和  $V_{2n}$ , 计算得到待测有机材 料薄膜差值部分两端的电压 $\Delta V_n$ ,

$$\Delta V_n = V_{1n} - V_{2n} \tag{5}$$

根据器件 D1 和器件 D2 中待测有机材料薄膜的厚度  $d_1$  和  $d_2$ , 计算得到待测有机材料薄膜差值部分 的厚度 $\Delta d$ ,

$$\Delta d = d_{1n} - d_{2n} \tag{6}$$

根据有机材料迁移率的定义公式,即

$$\mu_{n} = \frac{|\Delta d|^{2}}{|\Delta \tau_{n}| \times |\Delta V_{n}|} \tag{7}$$

根据设定的不同电场强度 E1、E2...En下的迁移率 µ1、µ2...µn,其中 n为正整数。

## 6 测试报告

测试报告应包括以下内容:

- 1) 样品编号及测量项目
- 2) 样品器件结构
- 3) 测量仪器
- 4) 厚度差
- 5)不同电场强度下的瞬态发光时间和瞬态发光时间差
- 6)不同电场强度下的驱动电压和电压差
- 7)不同电场强度下的迁移率
- 8) 测试者
- 9)测试日期

## 附录 A

### (资料性)

#### 迁移率测试示例

#### A.1 样品编号及测量项目

示例1测量有机材料A的电子迁移率; 示例2测量有机材料B的空穴迁移率。

#### A.2 样品器件结构及厚度差

示例 1:测量有机材料 A 的器件 D11 和 D21,器件 D11 的结构为 ITO (95 nm)/3% HI:HT (60 nm)/EB (10 nm)/3% RD:RH (5 nm)/HB (50 nm)/有机材料 A (50 nm)/0.6% Ag:ET (10 nm)/Al (100 nm),器件 D21 的结构为 ITO (95 nm)/3% HI:HT (60 nm)/EB (10 nm)/3% RD:RH (5 nm)/HB (50 nm)/有机材料 A (150 nm)/0.6% Ag:ET (10 nm)/Al (100 nm)。计算得到有机材料 A 的厚度差Δd1为 100 nm。

示例 2: 测量有机材料 B 的器件 D12 和 D22, 器件 D12 的结构为 ITO (95 nm)/3% HI:HT (10 nm)/ 有机材料 B (100 nm)/EB (200 nm)/3% RD:RH (5 nm)/HB (10 nm)/0.6% Ag:ET (30 nm)/Al (100 nm),器件 D22 的结构为 ITO (95 nm)/3% HI:HT (10 nm)/有机材料 B (300 nm)/EB (200 nm)/3% RD:RH (5 nm)/HB (10 nm)/0.6% Ag:ET (30 nm)/Al (100 nm)。计算得到有机材料 B 厚度差Δd4 为 200 nm。

示例1和示例2测量迁移率的器件所涉及的化合物HI、HT、EB、RD、RH、HB、ET、有机材料A和 有机材料B的化学结构如图A1。









RD



T/DTIA XXX-2024

CN



有机材料B

图A1 化合物HI、HT、EB、RD、RH、HB、ET、有机材料A和有机材料B的化学结构

## A.3 测量仪器

分别使用Tektronix AFG31052波函数信号发生器和Keithley 2400数字源测量单元产生脉冲信号和测量器件电极两端的电压,采用爱丁堡FLS1000瞬态光谱仪测量瞬态发光信号。

## A.4 不同电场强度下的驱动电压及电压差

器件 D11 和 D21、器件 D12 和 D22 不同电场强度(根据式 4)下的驱动电压及电压差(根据式 5) 分别如表 11 和表 12 所示。

器件 D11 驱动电压 (V)	器件 D21 驱动电压 (V)	电压差ΔV <sub>1</sub> (V)	电场强度 <i>E</i> 1 (V/cm)
2.234	2.403	0.169	16900
2.285	2.530	0.245	24500
2.351	2.702	0.351	35100
2.473	3.019	0.546	54600
2.602	3.348	0.746	74600
2.772	3.776	1.004	100400

表 11 器件 D11 和 D21 不同电场强度下的驱动电压及电压差

-	<b>,</b>			
	器件 D12 驱动电压 (V)	器件 D22 驱动电压 (V)	电压 <i>差</i> ∆V <sub>2</sub> ( <b>V</b> )	电场强度 E <sub>2</sub> (V/cm)
-	2.637	2.841	0.204	20400
	2.826	3.168	0.342	34200
	3.207	3.834	0.627	62700
	3.629	4.585	0.956	95600
	4.212	5.639	1.427	142700

表 12 器件 D12 和 D22 不同电场强度下的驱动电压及电压差

## A.5 不同电场强度下的瞬态发光时间和瞬态发光时间差

器件 D11 和 D21、器件 D12 和 D22 不同电场强度下的瞬态发光时间以及时间差(根据式 3)分别 如表 21 和表 22 所示。图 A2 为器件 D11 和 D21 在 54600 V/cm 电场强度下的归一化瞬态发光特性以及 时间差Δτ<sub>1</sub>取值

表 21 器件 D11 和 D21 不同电场强度下的瞬态发光时间以及时间差			
器件 D11 瞬态发光时间 τ <sub>d11</sub> (µs)	器件 D21 瞬态发光时间 τ <sub>d21</sub> (µs)	时间差Δτ <sub>1</sub> (μs)	电场强度 <i>E</i> <sub>1</sub> (V/cm)
23.03	13.41	9.619	16900
17.03	11.20	5.831	24500
12.21	9.001	3.206	35100
7.737	6.300	1.437	54600
5.402	4.676	0.726	74600
3.854	3.550	0.304	100400

表 22 器件 D12 和 D22 不同电场强度下的瞬态发光时间以及时间差

器件 D12 瞬态发光时间 τ <sub>d12</sub> (µs)	器件 D22 瞬态发光时间 τ <sub>d22</sub> (µs)	时间差Δτ <sub>2</sub> (μs)	电场强度 E <sub>2</sub> (V/cm)
6.194	3.434	2.760	20400
4.603	2.857	1.746	34200
3.069	2.196	0.873	62700
2.243	1.711	0.532	95600
1.658	1.377	0.281	142700



图 A2 器件 D11 和 D21 在 54600 V/cm 电场强度下的归一化瞬态发光信号上升沿特性和时间差Δτ1 取值

## A.6 不同电场强度下的迁移率

有机材料A在不同电场强度下的电子迁移率以及有机材料B在不同电场强度下的空穴迁移率分别如表31和表32所示。如图A3所示,有机材料A在16900~100400 V/cm电场强度范围的电子迁移率范围是 $6.15 \times 10^{-5} \sim 3.28 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V} \text{ s}$ ,有机材料B在20400~142700 V/cm电场强度范围的空穴迁移率范围是 $7.10 \times 10^{-4} \sim 2.05 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V} \text{ s}$ ,其迁移率随电场强度变化特性如图A3。

电场强度 <i>E</i> <sub>1</sub> ( <b>V/cm</b> )	迁移率 $\mu_{e1}$ (cm <sup>2</sup> /V s)
16900	6.15×10 <sup>-5</sup>
24500	$7.00 \times 10^{-5}$
35100	8.89×10 <sup>-5</sup>
54600	$1.27 \times 10^{-4}$
74600	$1.85 \times 10^{-4}$
100400	3.28×10 <sup>-4</sup>
表 32 有机材料 B 在不同	电场强度下的空穴迁移率
电场强度 E <sub>2</sub> (V/cm)	迁移率 µ <sub>h1</sub> (cm <sup>2</sup> /V s)
20400	7.10×10 <sup>-4</sup>
34200	6.70×10 <sup>-4</sup>
62700	$7.31 \times 10^{-4}$
95600	7.86×10 <sup>-4</sup>
142700	9.98×10 <sup>-4</sup>

表 31 有机材料 A 在不同电场强度下的电子迁移率

T/DTIA XXX-2024



图 A3 有机材料 A 在不同电场强度下的电子迁移率以及有机材料 B 在不同电场强度下的空穴迁移率