ICS 77.040.20
CCS Q 53

YB

中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T 6166—2024

石墨烯薄膜　方块电阻的测定　四探针法

Graphene film—Testing methods for square resistance—Four probe method

2024-03-29 发布　　2024-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部　发布

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。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：江苏省特种设备安全监督检验研究院(国家石墨烯产品质量检验检测中心(江苏))、冶金工业信息标准研究院、青岛华高墨烯科技股份有限公司、苏州晶格电子有限公司、南京大学。

本文件主要起草人：杨永强、区炳显、李倩、郭洪云、丁海龙、于葛亮、王勤生、田子健、张萧丹、王群、张维旭。

石墨烯薄膜　方块电阻的测定　四探针法

1　范围

本文件规定了石墨烯薄膜的方块电阻测定方法，包括方法原理、仪器设备、测试条件、测试步骤、结果计算与数据采集和测试报告等。

本文件适用于目视平整、附着在衬底表面的石墨烯薄膜方块电阻的测定，石墨烯薄膜的长和宽均不小于 50 mm。方块电阻的测量范围为 $1\times10^{-3}\ \Omega\sim1\times10^{3}\ \Omega$。本文件也可适用于更高或更低方块电阻的测量，但其测量精确度尚未评估。

2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 1551　硅单晶电阻率测定　直排四探针法和直流两探针

GB/T 30544.13—2018　纳米科技　术语　第 13 部分：石墨烯及相关二维材料

3　术语和定义

GB/T 30544.13—2018 中界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

方块电阻　square resistance

与电流平行的电势梯度对电流密度和厚度乘积的比，也称薄层电阻。

3.2

石墨烯薄膜　graphene film

由石墨烯相关二维材料附着在衬底上构成的薄而平的制品。

4　方法原理

使用直排四探针测量装置（见图 1），使直流电流通过试样上两外探针，测量两内探针之间的电位差，引入与试样几何形状有关的修正因子，计算出方块电阻。

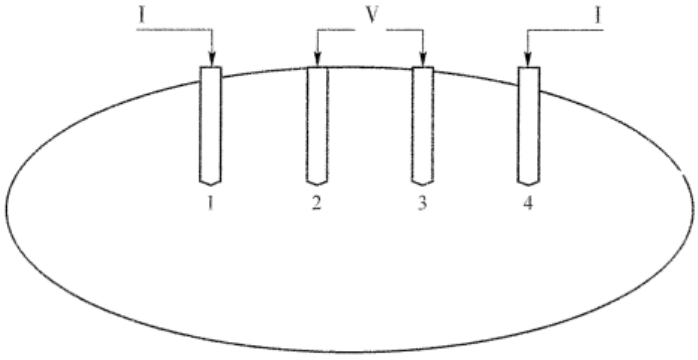


图 1　直排四探针法测试方块电阻的示意图

5 仪器设备

5.1 仪器组成

四探针方块电阻测试仪由主机、样品台、探头、数据采集与处理系统等部分组成。

5.2 技术要求

a) 测试仪测量范围为 1×10^{-4} Ω～1×10^{4} Ω；

b) 探头：用电阻率小于 10 mΩ·cm 的导电橡胶探针制成，四探针应以等距离直线排列。探针间距及针尖状况应符合 GB/T 1551 的规定。

6 测试条件

6.1 环境要求

测试环境应符合下列要求：

a) 设备应置于无高频发生器、强电磁场及震动干扰的环境中；

b) 测试环境条件：温度范围为 20 ℃～30 ℃，测量时温度波动±1 ℃，相对湿度不大于 65%；

c) 在其他环境条件下测试，应在测试报告中注明。

6.2 试样要求

试样应符合下列要求：

a) 石墨烯薄膜应目测平整地附着在衬底表面，长和宽不小于 50 mm；

b) 衬底为目测平整的半导体或绝缘体材料，长和宽不小于附着在其表面的石墨烯薄膜尺寸。

7 测试步骤

7.1 仪器设备开机后，与试样置于测试环境中至少 30 min。

7.2 在距离石墨烯薄膜边缘至少 50 mm 的区域，将试样表面分为 5 个测试区域，至少选择一条对角线上的 3 个测试区域进行测试(见图 2)。

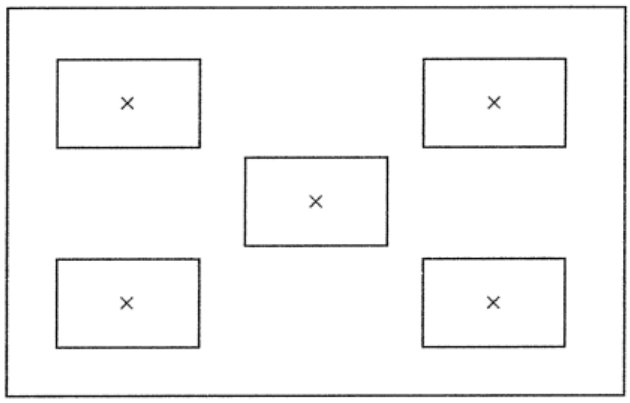


图 2 试样测试区域位置示意图

7.3 试样置于样品台，下移探头至选定测试区域，直至探头与试样形成示值稳定的欧姆接触。

7.4 每个测试区域应至少测试 3 次。

7.5 记录测试数据。

7.6 测试示例参见附录 A。

8 结果计算与数据采集

8.1 结果计算

方块电阻(R_s)按式(1)进行计算：

$$R_s = F \times \frac{V}{I} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

式中：

R_s——方块电阻，单位为欧姆(Ω)；

F——修正因子，根据试样几何形状与探针修正因子，从仪器自带的修正系数表查询；

V——测得的电势差，单位为毫伏(mV)；

I——测得的电流，单位为毫安(mA)。

8.2 数据采集

数据采集应符合下列要求：

a) 按照测试区域，记录不同测试位点的数据，结果保留到小数点后一位数；

b) 考虑到薄膜材料的不均匀性，如对某测试位点数据有异议，可在同测试位点或同测试区域额外增加 2 次测试，并计算所得 3 次数据的平均值。如原测试位点数据不超过该平均值的 20%，选择原测试位点数据记录；如原测试位点数据超过该平均值的 20%，则记录全部 3 次测试数据。

9 测试报告

测试报告中应至少包括下列内容：

a) 测试日期；

b) 环境温度和湿度；

c) 试样信息；

d) 本文件编号；

e) 测试结果。

附 录 A
（资料性）
测试示例

A.1 试样

PET 衬底石墨烯薄膜。试样如图 A.1 所示，PET 衬底长和宽分别为 35 cm 和 25 cm；石墨烯薄膜长和宽分别为 30 cm 和 20 cm。

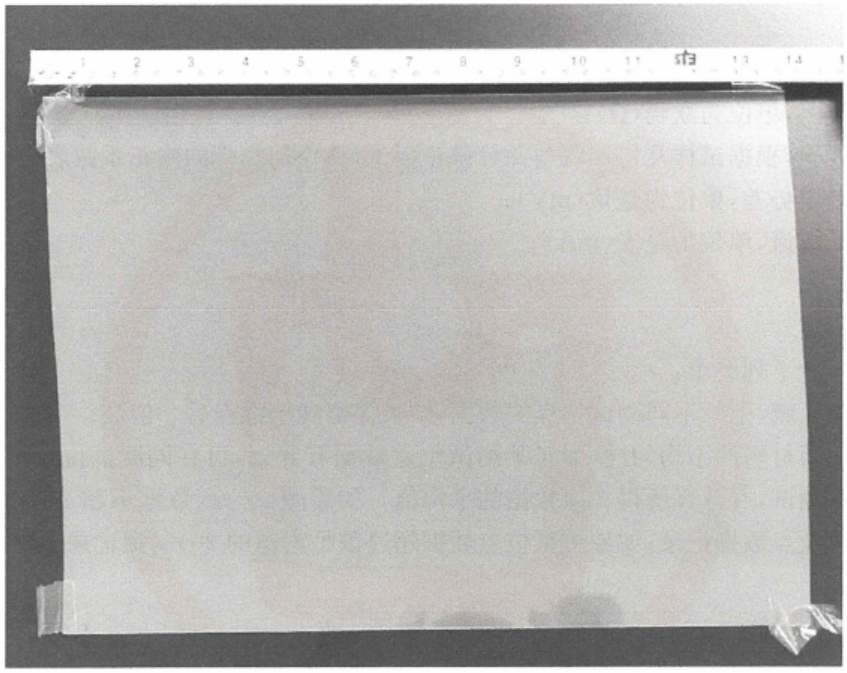


图 A.1 PET 基底石墨烯薄膜

A.2 仪器设备

A.2.1 四探针方阻测量仪，方块电阻测试范围为 1×10^{-4} Ω～1×10^{4} Ω。

A.2.2 四探针探头，探针等距离直线排列，探针间距 2 mm，探针为圆柱形，探针材质为电阻率小于 10 mΩ·cm 的导电橡胶。

A.3 测试步骤

A.3.1 四探针方阻测量仪开机后，与试样 PET 衬底石墨烯薄膜在温度为 23 ℃、湿度 55% RH 的测试环境下静置 30 min。

A.3.2 如图 A.2 所示，目测试样 PET 衬底石墨烯薄膜整体平整，无明显褶皱、缺陷或杂质颗粒；其中，PET 衬底长和宽分别为 35 cm 和 25 cm；石墨烯薄膜长和宽分别为 30 cm 和 20 cm。在距离石墨烯薄膜长和宽两个边缘 50 mm 的区域，沿对角线分别选定 1、2、3 三个测试区域。

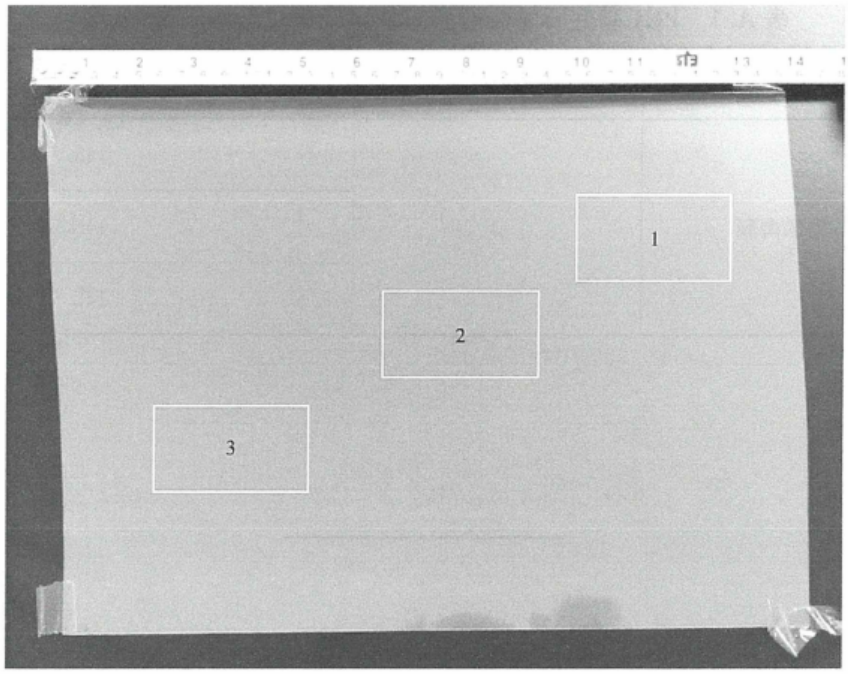


图 A.2　PET 基底石墨烯薄膜测量位置示意图

A.3.3　将试样放到四探针方阻测试仪的样品台，选定测试区域并下移探头直至探头与试样形成稳定示值稳定的欧姆接触。

A.3.4　确定相关修正系数和参数后，开始测试。

A.3.5　待测试数值稳定后，记录测试数据。

A.3.6　抬升探头，重复上述步骤进行不同测试点和测试区域的多次测量。

A.4　测试结果

设备直接给出 PET 基底石墨烯薄膜的方块电阻。表 A.1 记录了样品 1、2、3 三个测试区域的 9 个方块电阻数据。

表 A.1　PET 基底石墨烯薄膜方块电阻测试数据记录表

试样名称	测试区域	方块电阻 $R_{□}$/Ω
PET 基底石墨烯薄膜	1	150.3
		146.1
		148.7
	2	139.6
		144.2
		140.6

表 A.1　PET 基底石墨烯薄膜方块电阻测试数据记录表(续)

试样名称	测试区域	方块电阻 $R_{□}$/Ω
PET 基底石墨烯薄膜	3	145.5
		148.5
		145.9

中华人民共和国黑色冶金
行业标准
**石墨烯薄膜　方块电阻的测定
四探针法**
YB/T 6166—2024
*
冶金工业出版社出版发行
北京市东城区嵩祝院北巷39号
邮政编码：100009
北京建宏印刷有限公司印刷
冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com
*
开本 880×1230　1/16　印张 0.75　字数 18 千字
2024 年 8 月第一版　2024 年 8 月第一次印刷
*
统一书号：155024·4728　定价：45.00 元

155024·4728
9 715502 447284