

# T/ZJBDT

团 体 标 准

T/ZJBDT 001—2025

## 新型非易失性存储芯片（磁随机存储芯片、 相变存储芯片、阻变存储芯片）存储性及可 靠性测试方法

### 第 4 部分：阻变存储芯片测试

Testing methods for storage and reliability of emerging non-volatile memory chips  
(MRAM, PCM, RRAM)

Part 4: Resistive random-access memory (RRAM) testing

2025 - 01 - 10 发布

2025 - 01 - 10 实施

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 测试要求及设备 .....	1
4.1 测试要求 .....	1
4.2 测试设备 .....	1
4.2.1 概述 .....	1
4.2.2 脉冲信号发生器 .....	2
4.2.3 温度试验箱 .....	2
5 形成操作成功率测试 .....	2
5.1 测试条件 .....	2
5.2 测试程序 .....	2
6 置位复位测试 .....	2
6.1 测试条件 .....	2
6.1.1 置位复位电压测试条件 .....	2
6.1.2 置位复位时长测试条件 .....	3
6.2 测试程序 .....	3
6.2.1 置位复位电压测试程序 .....	3
6.2.2 置位复位时长测试程序 .....	3
7 静态功耗测试 .....	3
7.1 测试条件 .....	3
7.2 测试程序 .....	3
8 耐久测试 .....	4
8.1 测试条件 .....	4
8.2 测试程序 .....	4
9 数据保持时间测试 .....	4
9.1 测试条件 .....	4
9.2 测试程序 .....	4

## 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。

《新型非易失性存储芯片（磁随机存储芯片、相变存储芯片、阻变存储芯片）存储性及可靠性测试方法》由以下部分组成：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：磁随机存储芯片测试；
- 第3部分：相变存储芯片测试；
- 第4部分：阻变存储芯片测试。

本文件为第4部分。

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。

本文件由浙江省半导体行业协会提出并归口。

本文件主要起草单位：浙江大学。

本文件参与起草单位：浙江驰拓科技有限公司、联芸科技（杭州）股份有限公司、深圳市思恩技术有限公司、杭州华澜微电子股份有限公司、杭州电子科技大学、深圳市普科技术有限公司、杭州加速科技有限公司。

本文件主要起草人：程志渊、黄平洋、刘晨曦、杨吉龙、丁勇、何世坤、李国阳、方盼、骆建军、谭建新、邬刚。

# 新型非易失性存储芯片（磁随机存储芯片、相变存储芯片、阻变存储芯片）存储性及可靠性测试方法

## 第4部分：阻变存储芯片测试

### 1 范围

本文件描述了阻变存储芯片存储性及可靠性测试方法的术语、测试要求、测试设备、测试条件、测试程序等。

本文件适用于实现阻变存储芯片的存储性及可靠性验证。

### 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

### 3 术语和定义

GB/T 6648——1986、GB/T 17574——1998、GB/T 35003——2018和本标准第1部分界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

##### **形成操作 forming operation**

向未经使用的阻变存储芯片在初始时施加特定电压，从而使之具备阻变特性的过程。

### 4 测试要求及设备

#### 4.1 测试要求

测试中的电源电压或电流应在规定值 $\pm 1\%$ 以内。

测试中的输入电压应在规定值 $\pm 1\%$ 或 $\pm 1\text{mV}$ 以内。

测试中的输入脉冲特性、频率等准确度应在 $\pm 1\%$ 以内。

测试中的温度应在规定值 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

测试样品要求：封装后的样品应具有基本的电源/接地引脚、测试模式引脚、行/列地址选中引脚、写入/读取引脚等实现测试功能必备的端口。

#### 4.2 测试设备

##### 4.2.1 概述

阻变存储芯片存储性及可靠性测试需要样品供电电源、脉冲信号发生器、温度试验箱等设备。如图1所示：

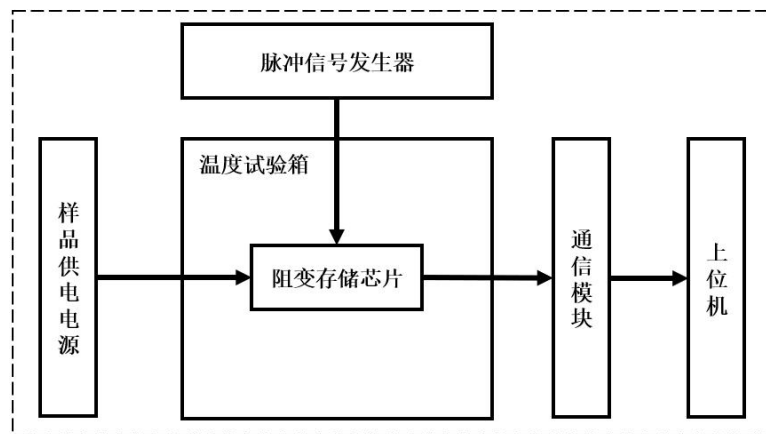


图 1 阻变存储芯片存储性及可靠性测试设备示意图

#### 4.2.2 脉冲信号发生器

具有脉冲信号输出能力，具有外部控制源控制输出电压和脉冲宽度的能力。能够提供0V~4.5V可调的操作电压，0.3V~0.5V可调的读取电压，10ns~100us可调的脉冲宽度。

#### 4.2.3 温度试验箱

能够提供-40°C~200°C可调的高低温测试环境，能够将温度稳定在规定温度的 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

### 5 形成操作成功率测试

#### 5.1 测试条件

测试温度：20°C~40°C。

测试容量：使用芯片一半及以上容量。

测试电压：读电压为0.3V，操作电压可选为2.5V、3V、3.5V、4V。

脉冲宽度：脉冲宽度可选为100ns、1us、10us、100us。

#### 5.2 测试程序

具体测试步骤如下：

- a) 供电样品芯片电源引脚。
- b) 使能测试模式引脚，使样品芯片进入测试模式，并处于工作状态。
- c) 使能具体端口，选中指定行列地址中的存储单元。
- d) 读取 RRAM 指定行列地址中全部存储单元的初始阻值。
- e) 选定一组操作电压和脉冲宽度，对 RRAM 指定行列地址进行形成操作。
- f) 读取执行过形成操作的各个存储单元的状态，计算形成操作成功率为形成操作成功的单元数/执行形成操作的总单元数。
- g) 更改操作电压和脉冲宽度，重复进行（c）~（f），计算多组形成操作成功率，确定成功率最高的操作电压与脉冲宽度。

### 6 置位复位测试

#### 6.1 测试条件

##### 6.1.1 置位复位电压测试条件

测试温度：20°C~40°C。

测试容量：使用芯片一半及以上容量。

测试电压：读电压为0.3V，置位电压幅值从0V增加到2V，步进0.1V；复位电压幅值从标准复位电压开始上下拉偏，步进0.1V。

脉冲宽度：置位/复位脉冲宽度根据样品规格设置。

### 6.1.2 置位复位时长测试条件

测试温度：20°C~40°C。

测试容量：使用芯片一半及以上容量。

测试电压：读电压为0.3V，置位/复位电压幅值根据样品规格设置。

脉冲宽度：置位脉冲宽度从100ns增加到10us，步进100ns；复位脉冲宽度从标准复位脉宽开始上下拉偏，步进10ns。

## 6.2 测试程序

### 6.2.1 置位复位电压测试程序

具体测试步骤如下：

- 同 5.2 形成操作成功率测试程序 (a) ~ (d)。
- 在置位/复位操作之前，将指定行列地址中的全部存储单元复位为“0”/置位为“1”。
- 对指定行列地址中的全部存储单元进行数据读取，确保数据有效复位/置位。
- 对 RRAM 指定行列地址进行置位/复位操作。
- 读取执行过置位/复位操作的各个存储单元的状态，若状态没有改变，则改变置位/复位电压幅值  $V_s/V_r$ ，重复进行 (d) ~ (e)。
- 不断循环直至指定行列地址中全部存储单元的状态发生改变，记录此时的置位/复位电压幅值  $V_{ms}/V_{mr}$  为置位/复位电压。

### 6.2.2 置位复位时长测试程序

具体测试步骤如下：

- 同 5.2 形成操作成功率测试程序 (a) ~ (d)。
- 在置位/复位操作之前，将指定行列地址中的全部存储单元复位为“0”/置位为“1”。
- 对指定行列地址中的全部存储单元进行数据读取，确保数据有效复位/置位。
- 对 RRAM 指定行列地址进行置位/复位操作。
- 读取执行过置位/复位操作的各个存储单元的状态，若状态没有改变，则改变置位/复位脉冲宽度  $T_s/T_r$ ，重复进行 (d) ~ (e)。
- 不断循环直至指定行列地址中全部存储单元的状态发生改变，记录此时的置位/复位脉冲宽度  $T_{ms}/T_{mr}$  为置位/复位时长。

## 7 静态功耗测试

### 7.1 测试条件

测试温度：20°C~100°C。

测试容量：使用芯片全部容量。

测试电压：操作电压可选为2.5V、3V、3.5V、4V。

### 7.2 测试程序

具体测试步骤如下：

- 设定初始温度为 20°C。
- 选择一组测试电压作为供电电压。
- 供电样品芯片电源引脚。
- 使能测试模式引脚，使样品芯片进入测试模式，并处于静态工作状态。
- 断开所有端口。
- 测量电源引脚电流。

- g) 停止给样品芯片电源供电，恢复初始状态。
- h) 更改操作温度（以 5°C 步进递增），重复进行（c）~（g），记录多组电流值。
- i) 比较得出当前供电电压下，功耗最低的温度值及电流值。

## 8 耐久测试

### 8.1 测试条件

测试温度：-40°C、25°C、85°C、125°C。

测试容量：使用芯片全部容量。

测试电压：读电压为 0.3V，置位/复位电压幅值使用 6.2.1 测试程序测出的置位/复位电压。

脉冲宽度：置位/复位脉冲宽度使用 6.2.2 测试程序测出的置位/复位时长。

循环间歇时长：根据样品规格设置，通常 10s~30s。

### 8.2 测试程序

具体测试步骤如下：

- a) 同 5.2 形成操作成功率测试程序（a）~（d）。
- b) 选择一项测试温度 T，将测试样品置于温度为 T 的环境中。
- c) 对 RRAM 指定行列地址进行反复的置位操作与复位操作。
- d) 操作循环次数在  $10^i \sim 10^{i+1}$  次之间，且为  $10^i$  的整数倍时，进行循环间歇，并读取 RRAM 指定行列地址中全部存储单元的阻值。其中， $i=1,2,3\dots$ 。
- e) 若可以通过阻值区分存储单元的存储状态则重复进行（c）~（d）。
- f) 不断循环直至无法通过指定行列地址中某存储单元的阻值区分存储单元的存储状态，即存储单元失效。
- g) 记录测试温度 T 下失效单元的耐久度为失效单元失效前成功执行置位操作与复位操作的次数。

## 9 数据保持时间测试

### 9.1 测试条件

测试温度：100°C~200°C，推荐  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  分别为 100°C、115°C、130°C、145°C。

测试容量：使用芯片全部容量。

测试电压：读电压为 0.3V，复位电压幅值使用 6.2.1 测试程序测出的复位电压。

脉冲宽度：复位脉冲宽度使用 6.2.2 测试程序测出的复位时长。

在阻变存储芯片测试中，温度 T 与数据保持时间 t 的关系适用于 Arrhenius 方程，见公式（1）：

$$t = \tau \exp(E_a/k_B T) \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- $t$  —— 器件数据保持时间，单位为小时(h)；
- $\tau$  —— 比例时间常数，单位为小时(h)；
- $E_a$  —— 反应活化能，单位为电子伏(eV)；
- $k_B$  —— 玻尔兹曼常数( $k_B=8.617 1 \times 10^{-5}$  eV/K)；
- $T$  —— 器件试验温度，单位为开尔文(K)。

### 9.2 测试程序

具体测试步骤如下：

- a) 同 5.2 形成操作成功率测试程序（a）~（d）。
- b) 将 RRAM 指定行列地址中全部存储单元复位为“0”。
- c) 将测试样品置于温度为  $T_1$  的高温环境中。
- d) 每间隔 1 小时对 RRAM 指定行列地址进行读取操作，记录下指定行列地址中全部存储单元的阻值。
- e) 持续记录数据，直至指定行列地址中某存储单元的阻值发生明显变化，即存储单元失效。

- f) 记录失效单元在 $T_1$ 高温环境下的数据保持时间 $t_{T1}$ 。
  - g) 将测试样品分别置于温度为 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 的高温环境中，重复进行（d）~（e），记录失效单元在 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 高温环境下的数据保持时间 $t_{T2}$ 、 $t_{T3}$ 、 $t_{T4}$ 。
  - h) 基于 Arrhenius 方程，将得到的温度与数据保持时间绘制在 $t_T-1/T$ 坐标系中，拟合为直线后，外推得到横坐标为 $1/T_0$ 时纵坐标的数值 $t_{T0}$ ，记录为 RRAM 指定行列地址中某存储单元在 $T_0$ 温度下的数据保持时间。
-