行业标准《半导体材料掺杂用扩散膜》

编制说明（送审稿）

一、工作简况

1、立项目的和意义

半导体扩散工艺是一种掺杂技术，它是将所需杂质按要求的浓度与分布掺入到半导体材料中，以达到改变材料电学性能，形成半导体器件的目的。传统的扩散工艺一般是使用传统化学品，后来发展出片状扩散源技术，仅德国、美国公司控制片状扩散工艺技术，后又发展出膜扩散技术，美国菲诺士公司掌握膜扩散技术20多年，对我国进行长期的技术封锁。

“十四五”规划纲要的“第四章 强化国家战略科技力量”的“集成电路”领域明确提出核心电子器件、高端通用芯片等宽禁带半导体的发展。《新材料产业发展指南》中三、发展方向(二)中明确提及宽禁带半导体材料；《新材料标准领航行动计划(2018-2020年)》中的“二(二)4先进半导体材料”中“建立碳化硅、氮化镓、氮化硼等第三代宽禁带半导体材料标准……”；《重点新材料首批次应用示范指导目录(2019版)》中“关键战略材料”中“284 碳化硅外延片、285碳化硅单晶衬底”。半导体材料掺杂用扩散膜（以下简称“扩散膜”）的技术突破，对加快推进集成电路产业发展，转变经济发展方式、保障国家安全、提升综合国力具有重大战略意义。

扩散膜属于半导体芯片制造的重要原材料，是芯片内部的结构的重要组成部分，扩散膜是芯片掺杂基础材料，是扩散源的一种新型产品，来源于片状源却不同于片状源。扩散膜具有扩散掺杂均匀度好，扩散掺杂重复性好，扩散特性容易控制，通过特定的工艺，把扩散膜含有的杂质原子扩散进入半导体材料的内部，形成具有一定掺杂浓度和梯度的半导体材料，在扩散过程中，膜被分解和燃烧掉。相对于传统的半导体扩散材料，具有清洁环保、不易燃，不易爆，便于储存、运输，并能有效提升芯片的特性，使用技术简单等优势。同时在超高浓度扩散以及复合源扩散方面有独特优势。特别适合于制造：超高压器件、高均匀掺杂、复合源掺杂的工艺中。另外安全、环保方面非常突出，可以使用无毒无害的化学品作为扩散膜。可控性好、高均匀性是其应用特性。目前，台湾、日本超高压器件芯片都在使用扩散膜，扩散膜在制造芯片的“技术参数优越性”“芯片可靠性”方面有很大的优势，加之其安全和环保特性，会成为未来发展的主流方向。二极管芯片制造和市场上高端芯片都已经使用扩散膜。

国内扩散膜的制备技术发展迅速，已实现批量生产，具备了制定扩散膜产品标准的基础。项目团队突破了扩散膜制造的设备、配方、制造工艺等多方的的限制，对膜状源产品特性和应用非常了解，满足扩散膜产品开发及产业化的需求供应。可以完全替代美国菲诺士公司的产品，能较好的解决半导体材料“卡脖”的问题。目前，安徽安芯电子科技股份有限公司、山东芯源微电子有限公司等掌握半导体扩散膜制造的核心技术，可以完全替代美国菲诺士公司的产品。扩散膜是芯片产业的基础材料，应用非常广泛，因此，制定《半导体材料掺杂用扩散膜》行业标准，对我国半导体行业的发展具有重要意义，能较好的解决半导体材料“卡脖”的问题。半导体扩散膜市场需求旺盛，生产企业越来越多，但没有相关产品标准，产品质量参差不齐，严重影响了产业健康发展。因此申请制定行业标准，规范和引领产业的发展。

2、任务来源

2.1 计划来源及要求

根据《工业和信息化部2023 年第一批行业标准制修订和外文版项目计划》（工信厅科〔2023〕18号）的要求，由安徽安芯电子科技股份有限公司，负责《半导体材料掺杂用扩散膜》的编制，项目编号：2023-0082T-YS，要求 2025 年完成。本标准由全国有色金属标准化技术委员会、全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会提出并归口，全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会具体组织编制。

3、主要参加单位和工作成员及其所做的工作

3.2 主要参加单位情况

本项目主编单位安徽安芯电子科技股份有限公司成立于2012年10月,注册资本3041.6954万元。占地面积100余亩、员工800余人,是一家集半导体芯片设计、晶圆制造、封装测试、半导体关键材料膜状扩散源于一体的综合性半导体研发和制造企业。产品主要应用于汽车电子、智能家居、5G通讯、LED照明、消费类电子、智能电网、无人机、军工等高端电源领域，大量产品均已实现进口替代，是中国领先的半导体芯片及元器件制造商之一。

公司已成功通过ISO/ITF16949:2009汽车行业质量体系认证和ISO14001:2004环境体系认证，拥有两个生产厂区，下核五个半导体制造工厂：两个整流芯片及快恢复芯片制造工厂、一个TVS芯片制造工厂和两个元器件封装工厂。公司功率二极管芯片产品主要为光阻法GPP芯片，产能在国内排名第二，安徽省排名第一，填补了安徽省高可靠性半导体分立器件芯片制造的空白。其生产技术及品质管理在半导体二极管领域处于领先水平，在技术创新和发展方向上引领GPP芯片行业潮流。

安芯电子拥有安徽省第一批高科技人才团队，领军人才汪良恩为国家首批“万人计划”创新创业人才。公司在创新发展过程中，成果转化显著。已获得15项发明专利、90多项实用新型专利，公司建有“安徽省功率半导体分立器件工程试验室”和“安徽省功率半导体分立器件企业技术中心”等研发平台，是国家专精特新重点“小巨人”企业，“国家知识产权优势企业”，“国家高新技术企业”，曾获得“第四届中国创新创业大赛”优秀奖、2020年安徽省科技进步二等奖、池州市质量奖、“安徽省名牌产品”等荣誉。

标准编制单位合肥增财智能科技有限公司，山东芯源微电子有限公司，安徽工匠质量标准研究院有限公司，在标准的编制过程中，能积极主动收集国内外的相关标准，到一些有代表性的企业进行半导体材料掺杂用扩散膜的生产和使用等方面的调研并收集现场实测数据，根据了解的现场实际情况，编制实测数据统计表，公司带领编制组成员单位认真细致修改标准文本，征求多家企业的修改意见，最终带领编制组完成标准的编制工作。中国科学技术大学，安徽大学参与标准编制，提出了宝贵意见，并对标准附录中的试验方法进行了复验。浙江中晶科技股份有限公司参与了标准编制，对于标准内容提出了修改意见。

3.2 主要工作成员负责的工作情况

本标准的主要起草人及工作职责见表 1。

表 1 主要起草人及工作职责

|  |  |
| --- | --- |
| 起草人 | 工作职责 |
|  | 全面负责标准的工作，包括标准的编写、试验方案确定及组织协调 |
|  | 标准框架的制定和后期编写的指导 |
|   | 负责标准起草过程中技术内容的确定与指导 |
|   | 负责提供企业的现场调研及配合标准编写开展现场试验验证及数据积累工作 |
|  | 开展附录中试验方法的验证 |
|  | 参与标准编制，反馈意见，并对标准附录中的试验方法进行复验 |

4、主要工作过程

4.1 起草阶段

本项目在下达计划之日起，标准编制组内部于2023年5月27日召开了关于标准起草的工作会议，布置了标准起草的相关工作。根据本标准的起草原则，编制组对我国目前生产半导体材料掺杂用扩散膜产品的相关企业进行调研和统计，参考国内外相关标准，同时结合相关企业的一些技术指标和检验数据起草了本标准讨论稿初稿。2023年6月5日，起草单位将标准讨论稿初稿发送给编制组其他成员征求意见，经过编制组的多次讨论和多版修改形成了讨论稿。

2023年7月19日编制组主要成员在参加了半导体材料标准工作会议之后，又召集编制组适时的按照新的规范要求对讨论稿初稿进行了适应性的修改，增加了磷扩散膜、硼扩散膜和扩散膜主元素等术语和定义，修改完善了扩散膜主元素浓度的试验方法。

2023年11月13日，在安徽铜陵召开标准研讨会，会后标准编制组依据研讨会意见对标准文本进行修改完善，增加了扩散膜分类、代号和产品表示方法。

2024年1月18日，标准编制组成员和标委会相关技术人员，前往安徽池州进行应用端实地调研，对扩散膜主元素浓度要求进行了规范，简化了扩散膜型号型号和浓度要求。

2024年4月7日，标准编制组成员和标委会相关技术人员，前往济南章丘进行实地调研，并验证了标准的技术要求。

2024年7月2日，形成标准征求意见稿，并提交至全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会秘书处。

2024年8月23日，在徐州召开了标准预审会，与会专家提出了14条修改意见，会后标准编制组按专家意见将标准修改完善，于2024年8月26日形成标准送审稿，并提交至全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会秘书处。

二、标准编制原则

本标准起草单位自接受起草任务后，成立了标准编制组负责收集生产统计、检验数据、市场需求及客户要求等信息，初步确定了《半导体材料掺杂用扩散膜》标准起草所遵循的基本原则和编制依据：

（1）查阅相关标准和国内外客户的相关技术要求；

（2）根据国内半导体材料掺杂用扩散膜生产企业的具体情况，力求做到标准的合理性和实用性；

（3）根据技术发展水平及测试数据确定技术指标取值范围；

（4）按照 GB/T 1.1和有色加工产品标准和国家标准编写示例的要求进行格式和结构编写标准；

（5）细化半导体材料掺杂用扩散膜产品质量要求，根据行业水平和用户需求，对扩散膜掺杂元素种类以及含量的要求进行确定；

（6）融入较为成熟半导体材料掺杂用扩散膜分析检测方法，提供准确的分析数据，更好的指导半导体材料掺杂用扩散膜的生产；

（7）规定半导体材料掺杂用扩散膜的质量验收内容，避免低劣产品挤占优秀产品生产空间，促进行业健康发展；

（8）结合我国半导体材料工业实际生产水平，同时根据产品用户的意见反馈，正确兼顾好彼此之间的关系，追求技术的先进性、指标的合理性和严谨性的统一。

三、确定标准主要内容的依据

本标准结合我国行业内半导体材料掺杂用扩散膜的实际生产和使用情况，考虑半导体材料掺杂用扩散膜的发展和行业现状制定而成。标准的主要内容的确定依据详述如下：

1、标准题目与适用范围

本文件界定了半导体材料掺杂用扩散膜（以下简称“扩散膜”）的术语和定义，规定了分类、技术要求、检验规则、标志、包装、运输、贮存、随行文件及订货单内容，描述了相应的试验方法。

本文件适用于半导体材料掺杂用扩散膜的制造。

2、分类

2.1 按掺杂元素分类

扩散膜按掺杂元素分为两类，分别是磷扩散膜和硼扩散膜。

2.2 系列代号

磷扩散膜：（磷）。

硼扩散膜：（硼）。

2.3 产品表示方法

产品型号及执行标准编号表示。

 X X YS/T XXXX—XXXX



示例：磷扩散膜，浓度为2.30\*1021个/cm3，表示为：（磷）P40 YS/T XXXX—XXXX。

3、技术要求

3.1 表面质量

表面应无裂纹、夹杂、凹坑、孔洞、缺边、沾污等。

3.2 颜色

磷膜：粉色或红色；硼膜白色或蓝色或灰色； 也可双方约定，并在订单中说明。

3.3 尺寸偏差

尺寸允许偏差不应大于1mm。客户若有特殊需求，则由供需双方协商确定并在订货单中注明。

3.4 扩散膜主元素浓度和浓度均匀度误差范围

3.4.1 磷膜主元素浓度和浓度均匀度误差应符合表1的要求，硼膜主元素浓度和浓度均匀度误差应符合表2的要求。

客户若有特殊需求，则由供需双方协商确定并在订货单中注明。

1. 磷膜主元素浓度标准及和浓度均匀度误差标准

| 牌号 | 磷原子浓度标准值（个/cm3） | 浓度均匀度误差 |
| --- | --- | --- |
| A级品 | B级品 | C级品 |
| P40 | 2.30\*1021 | ±5 % | ±6 % | ±10 % |
| P50 | 2.77\*1021 |
| P60 | 2.59\*1021 |
| P70-1 | 2.97\*1021 |
| P70-2 | 2.87\*1021 |
| P75 | 2.85\*1021 |

1. 硼膜主元素浓度标准及和浓度均匀度误差标准

| 牌号 | 硼原子浓度标准值（个/cm3） | 浓度均匀度误差 |
| --- | --- | --- |
| A级品 | B级品 | C级品 |
| B10  | 1.60\*1021 | ±5 % | ±6 % | ±10 % |
| B20 | 2.04\*1021 |
| B30 | 3.08\*1021 |
| B40 | 4.55\*1021 |

（2）主元素浓度主要验证情况分析

批次产品掺杂主元素含量范围：编制组对多片扩散膜产品的掺杂主元素含量实测值进行了统计，不同型号扩散膜掺杂主元素实际含量。

测量方法：

使用电子分析天平准确测量扩散膜试样（以下简称试样）质量（m）（精确到0.01 g），使用游标卡尺测量试样直径（d）（精确到0.01cm）和厚度（T）（精确到0.001cm），按照JY/T 0567—2020的中规定的方法测量试样中主元素质量百分比浓度（C），试样中主元素原子浓度（X）以个每立方厘米（个/cm3）表示，按式（1）计算：

 $X=\frac{m×C×n}{π(\frac{1}{2}×d)^{2}×T×M}$ ()

式中：

X——试样主元素原子浓度，单位为个每立方厘米（个/cm3）；

m——试样质量，单位为克（g）；

C——试样中主元素质量百分比浓度；

d——试样的直径，单位为厘米（cm）；

T——试样的厚度，单位为厘米（cm）；

M——主元素的摩尔质量，单位为克每摩尔（g/mol）；

n——摩尔数为6.02\*1023（个/mol）。

1. 掺杂主元素实际含量测试值表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 型号 | A级：标准值±5% | B级：标准值±6% | C级：标准值±10% | 主元素浓度 实际测试值 | 结论 |
| 1 | B10 | (1.52-1.68)\*1021 | （1.5-1.7）\*1021 | （1.44-1.76）\*1021 | 1.52\*1021 | 达到A级品标准 |
| 2 | B20 | (1.94-2.14)\*1021 | （1.92-2.16）\*1021 | （1.84-2.24）\*1021 | 2.06\*1021 | 达到A级品标准 |
| 3 | B30 | (2.93-3.23)\*1021 | （2.9-3.26）\*1021 | （2.77-3.39）\*1021 | 3.23\*1021 | 达到A级品标准 |
| 4 | B40 | (4.32-4.78)\*1021 | （4.28-4.82）\*1021 | （4.10-5.01）\*1021 | 4.77\*1021 | 达到A级品标准 |
| 5 | P40 | (2.19-2.42)\*1021 | （2.16-2.44）\*1021 | （2.07-2.53）\*1021 | 2.41\*1021 | 达到A级品标准 |
| 6 | P50 | (2.63-2.91)\*1021 | （2.60-2.94）\*1021 | （2.49-3.05）\*1021 | 2.91\*1021 | 达到A级品标准 |
| 7 | P60 | (2.46-2.73)\*1021 | （2.43-2.75）\*1021 | （2.33-2.85）\*1021 | 2.72\*1021 | 达到A级品标准 |
| 8 | P70-1 | (2.82-3.12)\*1021 | （2.79-3.15）\*1021 | （2.67-3.27）\*1021 | 3.12\*1021 | 达到A级品标准 |
| 9 | P70-2 | (2.73-3.01)\*1021 | （2.70-3.04）\*1021 | （2.58-3.16）\*1021 | 3.01\*1021 | 达到A级品标准 |
| 10 | P75 | (2.71-2.99)\*1021 | （2.68-3.02）\*1021 | （2.57-3.14）\*1021 | 2.89\*1021 | 达到A级品标准 |

从产品的多批次实测结果看，掺杂主元素的实际含量符合标准中要求的指标值，主元素含量远高于掺杂需求的杂质浓度含量，这可以充分满足客户的不同掺杂工艺条件下达到目标掺杂浓度。

掺杂主元素实际含量主要是结合产品用户要求以及不同半导体材料掺杂用扩散膜生产方的水平确定的，多个用户对此指标的要求一致。

（3）不同区域浓度均匀度误差主要验证情况分析

 定义为：不同区域浓度均匀度误差≤15%为合格品，更高均匀度的要求，由供需双方协商确定并在订货单中注明。

测试方法：把扩散膜以直径等分为3等分，分别为中心区（X1）、1/2半径区(X2)，边缘区(X3)，如图1所示。测试三个区域的主元素原子浓度X1、X2、X3，按式（2）计算浓度分布均匀性误差（ƒ）。



图1 直径等分为3等分示意图

ƒ=$\frac{|Xl−Xs|}{Y}×100\%$………………………………………………………………（2）

式中：

ƒ——浓度均匀性误差；

$Xl$——X1、X2、X3中最大值，单位为个每立方厘米（个/cm3）；

Xs——X1、X2、X3中最小值，单位为个每立方厘米（个/cm3）；

Y——三个区的主元素原子浓度平均值，计算公式：(X1+X2+X3)/3;单位为个每立方厘米（个/cm3）。

注： 按四舍五入的方法，计算精度：取小数点后三位数 。

主要验证情况分析：编制组抽测多片扩散膜产品的主元素浓度分布实测值对浓度分布的均匀度误差进行了统计：

1. 单片扩散膜掺杂主元素浓度分布均匀性误差测试统计表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 型号 | 检测位置 | 摩尔浓度（mol/kg） | 原子浓度（个/立方厘米） | 浓度均匀度误差 | 结论 |
| B10 | 中心区 | 2.5715  | 1.52\*1021 | 1.97% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 2.6085  | 1.54\*1021 |
| 边缘区 | 2.5530  | 1.51\*1021 |
| B20 | 中心区 | 4.1717  | 2.06\*1021 | 2.46% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 4.0884  | 2.02\*1021 |
| 边缘区 | 4.0699  | 2.01\*1021 |
| B30 | 中心区 | 6.2991  | 3.23\*1021 | 4.78% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 6.0031  | 3.08\*1021 |
| 边缘区 | 6.0679  | 3.11\*1021 |
| B40 | 中心区 | 10.9056  | 4.77\*1021 | 2.12% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 10.6558  | 4.67\*1021 |
| 边缘区 | 10.7761  | 4.72\*1021 |
| P40 | 中心区 | 5.3859  | 2.41\*1021 | 2.05% | <15%/合格 |
| 1/2半径 | 5.4730  | 2.45\*1021 |
| 边缘区 | 5.4892  | 2.46\*1021 |
| P50 | 中心区 | 5.7475  | 2.91\*1021 | 3.78% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 5.6442  | 2.86\*1021 |
| 边缘区 | 5.8605  | 2.97\*1021 |
| P60 | 中心区 | 5.8896  | 2.72\*1021 | 2.20% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 5.8863  | 2.71\*1021 |
| 边缘区 | 6.0058  | 2.77\*1021 |
| P70-1 | 中心区 | 6.3416  | 3.12\*1021 | 2.60% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 6.2480  | 3.07\*1021 |
| 边缘区 | 6.1769  | 3.04\*1021 |
| P70-2 | 中心区 | 5.7249  | 3.01\*1021 | 3.73% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 5.5053  | 2.90\*1021 |
| 边缘区 | 5.5731  | 2.93\*1021 |
| P75 | 中心区 | 5.0081  | 2.89\*1021 | 7.63% | <15%/合格 |
| 1/2半径区 | 4.7982  | 2.77\*1021 |
| 边缘区 | 5.1857  | 2.99\*1021 |

单片扩散膜掺杂主元素浓度分布均匀性误差主要是结合产品用户要求以及不同半导体材料掺杂用扩散膜生产方的水平确定的，多个用户对此指标的要求一致。

综上所述，本标准能满足我国与掺杂主元素浓度相关的半导体产业发展的客观要求，既体现了我国半导体材料掺杂用扩散膜制备技术的先进水平，又兼顾我国现阶段的具体实际。本标准实施后，将进一步保障行业需求，也有利于将我国的半导体材料掺杂用扩散膜产品推向国外市场。

4 检验规则

4.1 检查和验收

产品应由供方或第三方进行检验，保证产品质量符合本文件及订货单的规定。

需方可对收到的产品按照本文件的规定进行检验。如检验结果与本文件或订货单的规定不符，应以书面形式向供方提出，由供需双方协商解决。属于外形尺寸或表面质量的异议，应在收到产品之日起1个月内提出，属于其他性能的异议，应在收到产品之日起3个月内提出。如需仲裁，仲裁取样应由供需双方共同进行。

4.2 组批

产品应成批提交验收，每批应由供需双方一致确认的相同技术指标的扩散膜组成。

4.3 检验项目

每批扩散膜应对表面质量、颜色、尺寸偏差、掺杂主元素含量和浓度分布均匀度进行检验。

4.4 取样

每批扩散膜的检验按照GB/T 2828.1抽样检查，或按供需双方商定的方法抽样。如需对其他项目进行检验，可由供需双方协商确定并在订货单中注明。

4.5 检验结果的判定

如需方抽检有任一不合格，判该批产品为不合格。

5、标志、包装、运输、贮存和随行文件

5.1 标志

每个扩散膜包装盒上都有标签，标签上注明公司名称、公司地址及联系电话、产品名称、保存条件、保质期、扩散膜批号、型号、尺寸、数量。

5.2 包装

每批次检验合格的扩散膜，装入包装袋后密封，再装入适当的包装盒内，以免损伤，再将包装盒装入包装箱内，附上随行文件。

5.3 运输

产品在运输过程中应轻装轻卸、勿挤勿压，并有防震措施。

5.4 贮存

磷扩散膜室温(50 ℃以下)密封保存，存放于干燥环境中，避免紫外线辐射。

硼扩散膜密封保存，长期储存需冷藏保存，保存温度-10～10℃，短期存放（2周以内）温度25℃以下。避免紫外线辐射。

5.5 随行文件

每批扩散膜发货均附有本批次产品的检验合格证和送货单。

6 订货单内容

需方可根据自身的需要，在订购本公司所列产品的订货单内，列出以下内容：

* 1. 名称；
	2. 型号；
	3. 尺寸；
	4. 数量；
	5. 交期；
	6. 本文件编号；
	7. 其他。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、标准水平分析

半导体材料掺杂用扩散膜目前尚无相应的国际标准、国家标准和行业标准，本次标准起草为新制定的 推荐性行业标准，主要目的是规范和统一半导体材料掺杂用扩散膜的相关性能参数，便于采购订单制定和生产厂家对产品需求的识别和质量控制。本标准达到了国内先进水平。

六、与我国有关的现行法律、法规和相关强制性标准的关系。

行业标准《半导体材料掺杂用扩散膜》是推荐性标准，与国家现行法律、法规和相关强制性标准不存在相违背和抵触的地方。

七、重大分歧意见的处理经过和依据。

无。

八、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准作为推荐性行业标准发布实施。

九、 代替或废止现行有关标准的建议

无。

十、其他需要说明的事项

本标准根据目前国内半导体材料掺杂用扩散膜的实际生产现状和订货合同情况制定，考虑随着新材料的开发使用和生产装备的更新，如果以后生产或订货合同中对产品的性能指标有其他具体需求，可在下一版中进行补充修订。

十一、预期效果

本标准的制定和推广，将促进半导体材料掺杂用扩散膜产品规范的建立，在制定半导体材料掺杂用扩散膜的采购订单中相关的性能参数要求会更加明确，产品性能需求会更加清楚的被表征，更有利于供需双方对产品的确认和加工，减少由于潜在需求不明确导致的不能真正控制产品品质的情况。本标准能增进供需双方需求的了解，有效避免质量不足或者质量过剩等现象的发生，对产品品质控制和成本控制有很大的帮助。

标准编制组

2024年8月