

Частицы в ультрачистой воде

Владимир Смирнов, Светлана Якименко
(АО «НПК МЕДИАНА-ФИЛЬТР»)

Статья написана по материалам международной технологической дорожной карты для полупроводников (IRDS™ 2023) и посвящена обзору технологии контроля концентрации частиц в ультрачистой воде.

Эволюция дизайна полупроводниковых устройств от Planar FET (планарные) до FinFET¹ позволила продолжить развитие технологического узла до шага 24 нм к 2022 году. Ширина канала при этом составляет 6 нм: она определяет размер «частиц-убийц» модуля FIN, равный 3 нм. Высота модуля FIN достигает 60 нм, то есть соотношение сторон у модуля FIN – 10:1, что приводит к потенциальным проблемам надёжности устройства, связанным с физическим повреждением «пиков» и разрушением модуля FIN. К 2025 году стратегия проектирования устройств [1] потребует использования транзисторов с боковым затвором GAAFET (Gate-All-Around Field-Effect Transistor) с использованием нанотрубок и нанолитов, призванных устранить структурные проблемы, связанные с дизайном транзисторов FIN [2]. Геометрический размер мельчайшей части в этой технологии составляет 3 нм. Наконец, к 2031 году дизайн устройств перейдёт к 3D-стекам с топологией 2 нм, что добавит дополнительные трудности. Продолжение процесса уменьшения размеров устройств с увеличением их сложности приводит к необходимости дальнейшего расширения возможностей обнаружения и удаления критических частиц, которые являются основным источником дефектов, препятствующих повышению надёжности устройств.

При текущем уровне развития технологий наблюдаются значительные пробелы в возможностях измерения загрязнений. Сложность современных полупроводниковых устройств и постоянное сокращение геометрического масштаба привели к тому, что размер «частиц-убийц» стал намного меньше, чем возможности самой современной методики обнаружения частиц. Доступ-

ный мониторинг частиц в ультрачистой воде (УЧВ) ограничен лазерными счётчиками частиц, способными отслеживать частицы размером 20 нм с ограниченной эффективностью счёта. В стадии разработки и коммерциализации находятся новые измерительные устройства для частиц меньшего размера, но их возможности ещё не полностью оценены. Присутствие предшественников частиц в УЧВ может повлиять на некоторые из этих новых инструментов, ограничивая их способность количественно определять частицы размером менее 20 нм.

Такая ситуация наблюдается в системах получения УЧВ уже почти десять лет: поставщики счётчиков частиц инвестируют в устранение метрологического разрыва, в то время как последний только увеличивается. Таким образом, в настоящее время в УЧВ контролируют размер и содержание частиц, размеры которых намного превышают размер «частиц-убийц». Ситуацию усугубляют также следующие факторы.

1. Самая передовая фильтрация достигла предела контроля «частиц-убийц» («частицы-убийцы» значительно меньше, чем самые маленькие размеры пор фильтра).
2. Есть основания полагать, что некоторые материалы высокой чистоты выделяют значительное количество «частиц-убийц», которые невозможно контролировать современными метрологическими средствами.
3. Существует опасение, что высокомолекулярные полимеры (ионообменные смолы, полимеры) могут образовывать предшественников «частиц-убийц», когда они прикрепляются к пластине и вода испаряется.

Предшественники частиц. Это новый параметр, добавленный в дорожную кар-

ту развития технологий подготовки УЧВ в 2021 году. Критический размер частиц для массового производства полупроводников сейчас составляет 3,5 нм. Полупроводниковая промышленность вступила в область, где частицы, предшественники частиц и молекулы в жидкостях начинают перекрываться. Предшественник частиц определяется как растворённое молекулярное соединение, которое может образовывать частицы на пластине. Возможность отличать предшественников частиц от твёрдых частиц в УЧВ становится критически важной. Хотя усовершенствованная ультра- и наночистота может удалять твёрдые частицы нанометрового размера, тот же фильтр может иметь ограниченную способность или вообще не удалять предшественников частиц. SEMI недавно разработала новый стандарт для измерения количества предшественников частиц в УЧВ [3].

Следует отметить, что контроль частиц в УЧВ и жидких реагентах – не единственный параметр, требующий изменения подхода к повышению выхода годных к эксплуатации чипов. Однако на сегодняшний день частицы более критичны, чем другие типы загрязнителей, и описанный ниже подход может быть использован для иллюстрации подхода к метрологическому обеспечению других контролируемых параметров.

В условиях, когда невозможно достоверно определить содержание частиц менее 20 нм в потоке УЧВ, IRDS [1] был сформулирован подход встроенного качества, так называемый «проактивный подход»² для мониторинга частиц в УЧВ. Это означает исследование закономерностей распределения частиц в модельном растворе. Например, в результате исследований было выяснено, что размер частиц обратно пропорционален третьей степени их концентрации. Из этого следует, что если размер частицы 20 нм, а концентрация C_{20} , то концентрация частиц размером 10 нм будет равна $C_{10} = C_{20} (20/10)^3$, то есть $8 \times C_{20}$. Уменьшение размера частиц

¹ Проблемой планарных транзисторов размером от 22 нм был затвор, или ворота (Gate), который из-за своих размеров приводил к самопроизвольному туннелированию электронов от истока к стоку. Инженеры решили вытянуть канал (который находится между истоком и стоком) внутрь затвора в своеобразный плавник («Fin») и получить полноценную 3D-структуру. Это позволило перейти на техпроцесс 22 нм и меньше. Компания Intel была первой, кто использовал технологию FinFET в 2012 г. на процессорах Ivy Bridge.

² «Proactive Approach» [1]. «Проактивный подход» противопоставляется активному подходу, связанному с непосредственным контролем каждого параметра качества в УЧВ. «Проактивный подход» предполагает такие технологические решения, как установленные корреляции и достоверный метрологический контроль параметров, которые обеспечивают выход качественной продукции на уровне не менее 80% от объёма выпуска.

в 2 раза приводит к 8-кратному увеличению концентрации этих частиц.

Наряду с описанным выше подходом используется метод, моделирующий процесс изготовления чипа на кремниевой пластине с подсчётом частиц, осевших на пластине после каждой процедуры, имитирующей изготовление чипов на контрольном образце. Подсчёт частиц на поверхности кремниевой пластины проводят с помощью технологии Surface Enhanced Particle Sizing (SEPS), работающей в диапазоне от 8 нм до 100 нм. В проведённых экспериментах компаниями IRDS и More Moore был осуществлён физический подсчёт частиц и определён их размер на площади 10% от площади пластины. В результате исследований, в которых использовался описанный выше подход, были [1] сформулированы ожидания концентрации дефектов на 300 мм кремниевой пластине в 2022 и 2025 годах, расчёты выполнялись с учётом размеров слоёв Gate и Fin (таблица).

В настоящее время для контроля концентрации частиц в УЧВ предлагается использовать методологию, представленную в стандартах [4, 5, 6]. В стандарте [4] рассматриваются возможности фильтра смешанного действия с точ-

Дорожная карта по контролю частиц в УЧВ

Часть транзистора	2022				2025			
	D, нм	D/пл., шт.	Сч/мл, шт.	IRDS Сч/мл, шт.	D, нм	D/пл., шт.	Сч/мл, шт.	IRDS Сч/мл, шт.
Gate	9,0	5,0	3,3	1	7,0	6,6	4,4	1
Fin	3,0	136,1	125,6	100	3,5	52,8	43,9	10

D, нм – размер дефекта («частица-убийца»); D/пл., шт. – число обнаруженных дефектов на пластине 300 мм; Сч/мл, шт. – число частиц в 1 мл УЧВ; IRDS Сч/мл, шт. – число частиц в 1 мл УЧВ; согласно ожиданиям IRDS

ки зрения задержания частиц. Как правило, на ФСД задерживается около 50% частиц размером менее 20 нм, что, вероятно, связано с их поверхностным зарядом. Также стандарт позволяет оценить вероятность вымывания из ФСД предшественников частиц. Стандарт [5] предлагает методологию определения эффективной задерживающей способности фильтров частиц размером менее 15 нм, которые используются в системах распределения ультрачистой воды (УЧВ). Оценка применяемых на сегодняшний день ультрафильтров показывает, что они способны задержать субмикронные частицы менее 20 нм с эффективностью 75% [1].

Литература

1. International Roadmap for Devices and Systems™ 2023 update yield enhancement.

2. Samsung starts shipping world’s first 3nm chips. By Lee Ji-yoon. Published: July 25, 2022 – 14:59 // URL: <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20220725000623> (дата обращения: 20.02.2024).

3. SEMI F121 – Guide for Evaluating Metrology for Particle Precursors in Ultrapure Water. Опубликовано 09.2023.

4. SEMI C93 – Guide for Determining the Quality of Ion Exchange Resin Used in Polish Applications of Ultrapure Water System. Опубликовано 02.2017.

5. SEMI C79 – Guide to Evaluate the Efficacy of Sub-15 nm Filters Used in Ultrapure Water (UPW) Distribution Systems. Опубликовано 08.2019.

6. SEMI F104 – Test Method for Evaluation of Particle Contribution of Components Used in Ultrapure Water and Liquid Chemical Distribution Systems. Опубликовано 05.2020.






- УЛЬТРАЧИСТАЯ ВОДА
- ДЕИОНИЗОВАННАЯ ВОДА
- ВОДА ДЛЯ ЛАБОРАТОРИЙ 
- ОБЕССОЛЕННАЯ ВОДА
- ТЕХНИЧЕСКАЯ ВОДА

СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ

ASTM D5127-13
OCT 11.029.003
ГОСТ P 58144-2018

ГОСТ 52501-2005
ГОСТ P 58431-2019
SEMI
ISO 3696

- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ
- МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ
- ПУСКОНАЛАДКА
- СЕРВИС
- АУДИТ



📍 105318, Москва, ул. Ткацкая, д. 1

☎ +7 (495) 660-07-71

🌐 www.mediana-filter.ru

✉ info@mediana-filter.ru

Реклама