

ФОТОЛИТОГРАФИЯ. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОГО СОВМЕЩЕНИЯ СЛОЕВ ПОСЛЕ ЭПИТАКСИИ

В.Плебанович*, к.т.н. vsi@kbtem-omo.by
Л.Сятковский**, С.Воронин*

Создание современных интегральных микросхем (с напряжением питания 40, 80 и 120 В) невозможно без применения новых полупроводниковых технологий. В основном такие микросхемы создаются по биполярной технологии, имеют толстые (более 13 мкм) эпитаксиальные слои, а для улучшения параметров элементной базы в них используются скрытые слои. Проектные нормы соответствуют уровню 2 мкм, наблюдается тенденция к снижению. Фотолитография выполняется на установках проекционной печати с автоматическим совмещением и экспонированием, например, ЭМ-584АМ (проектные нормы до 1,5 мкм) или ЭМ-5084Б (проектные нормы до 0,8 мкм) производства КБТЭМ-ОМО или на аналогичных установках других производителей. Как правило, на всех предприятиях микроэлектроники в СНГ имеется такое оборудование.

Проекционные машины с автоматическим совмещением и экспонированием (технологии их чаще всего называют степперами, от английского step – шаг) очень чувствительны к качеству меток совмещения. Технология создания меток совмещения была разработана специально для этих машин на стадии их внедрения и состоит из следующих операций.

Фотолитография "метка" выполняется по фоторезисту, рассчитанному на последующее плазмохимическое травление, с использованием специального шаблона "метка", который представляет собой геометрическую фигуру "угол", состоящую из 6–12 полос, набранных из ромбов размером 3×3 мкм (рис.1). Как правило, метки располагаются на скрайберных дорожках или в модулях, предназначенных для меток. Их число зависит от требуемой точности совмещения и обычно составляет не менее пяти.

Плазмохимическое травление меток производится на установках ПХТ с реактором реактивного травления. Глубина травления варьируется от 0,8

до 2,5 мкм, основное требование к этой операции – ромбы не должны смыкаться после травления.

Полученные таким образом метки позволяют с высокой воспроизводимостью совмещать слои на фотолитографии по всему маршруту изготовления ИС. На качество совмещения не влияют окислительные и химические процессы, технология осаждения слоев нитрида кремния, поликремния, борфосфорсиликатных стекол, а также напыление металлов, плазмохимических окислов и пассивирующих слоев. Но один технологический процесс – эпитаксиальное выращивание кремния – приводит к значительному искажению рисунка метки (при толщине эпитаксиального слоя более 7 мкм), и это не позволяет использовать такую метку для последующих совмещений.

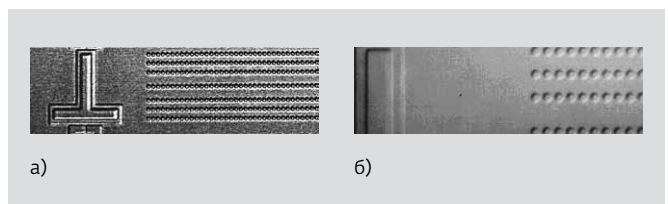


Рис.1. Метки совмещения: а) увеличение ×200; б) увеличение ×1000

* НПО УП "КБТЭМ–ОМО".

** Филиал "Завод полупроводниковых приборов" ОАО "Интеграл".

Как известно, при эпитаксиальном наращивании слой кремния повторяют кристаллическую решетку подложки. На знаке совмещения рост кремния происходит в зависимости от ориентации подложки. Так, для кремниевой подложки с ориентацией <100> эпитаксиальный кремний будет расти в вертикальной и горизонтальной плоскостях, что приведет при определенной толщине выращенного эпитаксиального кремния к смыканию знака совмещения. Но подложки кремния с ориентацией <100> редко используются для биполярной технологии, так как паразитные транзисторы, изготовленные на этих подложках, имеют низкие пробивные напряжения.

Обычно биполярные микросхемы изготавливаются на кремниевых подложках с ориентацией <111>, т.е. кристаллическая решетка расположена под углом 45° к поверхности подложки. На таких подложках эпитаксиальный слой растет со сдвигом. Типичный коэффициент сдвига составляет 115-125% от толщины выращенного эпитаксиального слоя. Изменение коэффициента зависит от типа эпитаксии, температуры, расхода газов, и этот процесс не удается стабилизировать с высокой точностью, что приводит к неприятным, с точки зрения конструкции метки, явлениям.

Во-первых, рост кремния внутри метки происходит под углом 45°, это приводит к искажению рисунка метки совмещения (рис.2), и она вместо поглощения света начинает его отражать (фактически создается идеальный угловой отражатель света).

Во-вторых, происходит сдвиг рисунка метки на величину, которая определяется толщиной эпитаксии и коэффициентом сдвига. А так как технологическое оборудование обеспечивает точность толщины слоя ±10%, то результат сдвига имеет неопределенность уже ±18%.

Таким образом, истинное местоположение метки совмещения может быть определено с точностью ±3,4 мкм при толщине эпитаксии 20 мкм, а это, в свою очередь, приводит к увеличению размеров в скрытых слоях микросхемы и, как следствие,

к увеличению площади всей микросхемы (так как размеры элементов предыдущих слоев должны гарантированно перекрывать размеры элементов последующих). Этого можно избежать, если решить проблему точности совмещения после проведения эпитаксиального наращивания кремния. По нашему мнению, есть два пути решения.

Во-первых, стабилизация режимов наращивания эпитаксиальных пленок кремния на современных установках. Они позволяют обеспечивать точность поддержания толщины выращенного кремния не хуже 5%, но это существенное улучшение требует значительных затрат. Сами установки стоят несколько миллионов долларов, да к тому же поддержание их в рабочем состоянии тоже дорогостоящая процедура.

Во-вторых, создание метки совмещения с непланарной стороны пластины (разработка автров), которая не подвергается эпитаксиальному наращиванию. Для этих целей хорошо подходит установка двухстороннего совмещения и экспонирования знаков совмещения ЭМ-5086М производства КБТЭМ-ОМО (Минск). Установка позволяет работать с пластинами ø76, 100, 150 и 200 мм и обеспечивает случайную

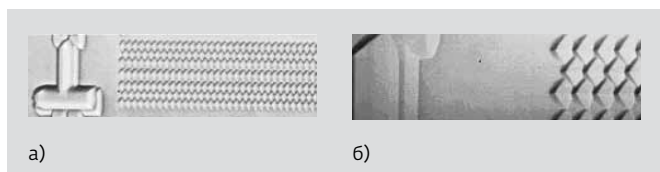


Рис.2. Метки совмещения после проведения операции эпитаксиального выращивания кремния толщиной 10 мкм на подложках с ориентацией <111>: а) увеличение ×200; б) увеличение ×1000



Рис.3. Установка совмещения и экспонирования ЭМ-5086М

составляющую погрешности совмещения метки с двух сторон подложки не хуже 0,3 мкм. При этом стоимость установки в десятки раз меньше установки эпитаксиального роста, т.е. такое решение проблемы экономически выгодно.

Применение установки ЭМ-5086М потребовало модификации технологического процесса изготовления ИС. Технологический процесс создания метки совмещения с планарной стороны не изменяется и включает окисление под метку, фотолитографию "метка", плазмохимическое травление и удаление фоторезиста (без снятия окисла под метку).

Дополнительно формируется метка с непланарной стороны. *Новый технологический блок* (с использованием базовых операций) *создания метки совмещения с непланарной стороны* включает следующие операции: нанесение фоторезиста на непланарную сторону пластины, совмещение и экспонирование на установке ЭМ-5086М, проявление фоторезиста, плазмохимическое травление метки, удаление фоторезиста, удаление окисла под метку.

Создание рисунка скрытых слоев p- и r-типа проводится в соответствии с существующим технологическим процессом на установках проекционной печати ЭМ-584АМ, ЭМ-5084Б или на установках контактной печати ЭМ-576 и ЭМ-5026АМ.

После операции эпитаксиального наращивания вводится новый технологический блок (с использованием базовых операций) *создания дублирующей метки совмещения с планарной стороны*. Он будет включать следующие операции: окисление под дублирующую метку совмещения, нанесение фоторезиста на планарную сторону, совмещение и экспонирование на установке

ЭМ-5086М, проявление фоторезиста, плазмохимическое травление дополнительной метки, снятие фоторезиста. Точность создания дополнительной метки совмещения составляет 0,3 мкм, что в десять раз (для эпитаксии толщиной 20 мкм) точнее, чем по традиционной технологии. При увеличении толщины эпитаксиального слоя точность совмещения по традиционной технологии ухудшается, а по предлагаемой останется прежней – 0,3 мкм.

Установка ЭМ-5086М настольного типа состоит из оптико-механического устройства и устройства управления. Оператор осуществляет загрузку и выгрузку пластин вручную. Перемещение координатного стола автоматическое. После автоматического совмещения знака на верхней стороне пластины с изображением знака на маске в слое фоторезиста на нижней стороне пластины формируется знак, совмещенный с верхним знаком. Экспозиция и задание необходимой дозы энергии производятся автоматически.

Работа установки основана на проекционном переносе изображения знака совмещения на обратную сторону пластины. Знаки совмещения на обратной стороне пластины формируются точно напротив знаков совмещения с рабочей стороны пластины или программно задается сдвиг знака совмещения на нужную величину. Основные характеристики установки ЭМ-5086М приведены ниже.

Размеры пластин (диаметр), мм.....	76, 100, 150, 200
Толщина пластин, мм.....	0,2-12
Погрешность совмещения знаков на двух сторонах пластины, не более, мкм.....	0,3
Размер рабочего поля проекционной системы (диаметр), не менее, мм.....	3
Оптическое разрешение проекционной системы, мкм.....	4
Потребляемая электрическая мощность, не более, Вт.....	300
Габариты, мм.....	400×680×815
Масса, кг.....	250

Модифицированный процесс создания дополнительной метки совмещения позволяет обеспечить точность совмещения технологических слоев не хуже 0,3 мкм. В результате без ухудшения параметров можно провести масштабирование микросхемы приблизительно на 18%. Стоимость установки ЭМ-5086М окупается уже после изготовления первых 10-12 тыс. пластин или 2-3 месяцев работы среднего предприятия микроэлектроники.

Подробную информацию по установке ЭМ-5086М можно получить на сайте www.kb-omo.by