

ВВЕДЕНИЕ

Принципиальное различие прямой и обращенной литографии заключается в способе формирования рисунка токопроводящего металлического слоя.

В прямой литографии подложка первоначально покрывается слоем металла, а затем на металлический слой наносится пленка фоторезиста. После процессов экспонирования, проявления и травления металлический слой удаляется с незащищенных фоторезистом участков. В технологии обращенной литографии на подложку сначала наносится пленка фоторезиста. После процессов экспонирования и проявления в пленке фоторезиста вскрываются участки, где предполагается осуществить металлизацию подложки. Затем вся поверхность, включая поверхность пленки фоторезиста и вскрытые участки подложки, покрываются металлом. На следующей стадии пленка фоторезиста удаляется с подложки с помощью подходящего растворителя вместе с осажденным на пленку металлом. Металлический слой сохраняется только на подложке во вскрытых окнах, оставляя желаемый рисунок металлизации. Характерным признаком обращенной литографии является отсутствие стадии травления.

Импульсом для разработки технологии обращенной литографии явилась необходимость формирования металлических токопроводящих дорожек на полупроводниковых подложках, где использование химического или плазменного травления является нежелательным или несовместимым с технологией или материалами. Примером этого может служить технологическая операция на подложках арсенида галлия.

Другая причина - это обеспечение надежного контроля над размерами элементов. Химическое травление является изотропным по природе. Вследствие этого трудно контролировать ширины линии металла из-за подтравливания металла под маской резиста. В технологии обращенной литографии травление отсутствует и ширина формируемых металлических дорожек зависит только разрешения пленки фоторезиста

Стандартные позитивные фоторезисты невозможно использовать в обращенной литографии из-за положительного наклона профиля стенок резиста, что обусловлено объемным эффектом. Ультрафиолетовое излучение при прохождении через пленку поглощается, в результате верхние слои пленки получают более высокую дозу энергии, чем нижние. Вследствие этого верхние слои пленки будут быстрее растворяться в проявителе, профиль резиста становится пологим, уширенным вверху и уменьшенным внизу у основания. Обычно этот положительный наклон составляет 75 - 85 °С в зависимости от условий процесса и характеристик оборудования для экспонирования. При нанесении слой металла осаждается на боковых стенках пленки фоторезиста, что сделает затруднительным последующее удаление пленки фоторезиста растворением.

Фоторезист ФПН-20-ИЗО обеспечивает отрицательный наклон профиля стенки. Достигается это с помощью обращения скрытого позитивного изображения. На рисунках 1-7 показаны основные стадии обращения изображения маски.

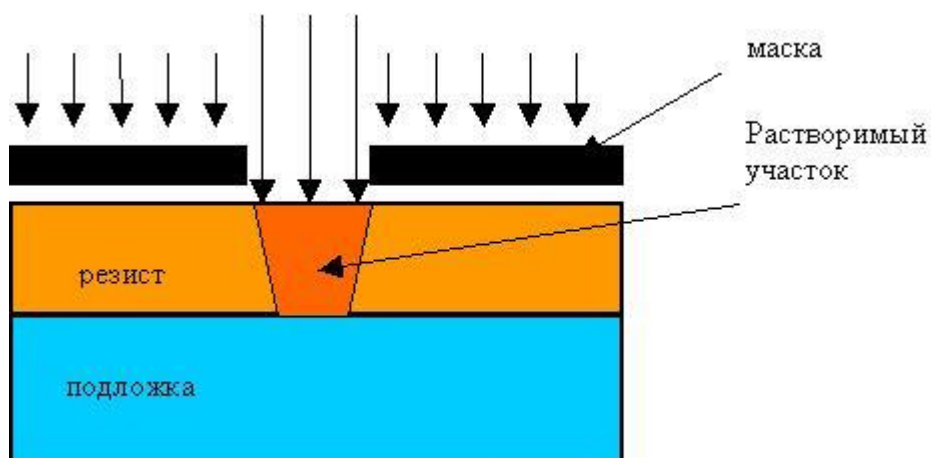


Рис. 1. Экспонирование резиста и возникновение скрытого позитивного изображения

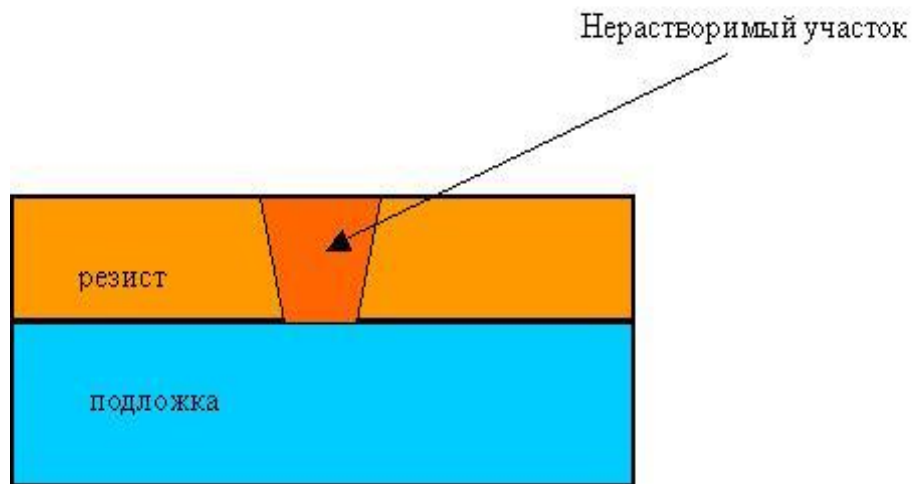


Рис. 2. Термическая обработка пленки резиста

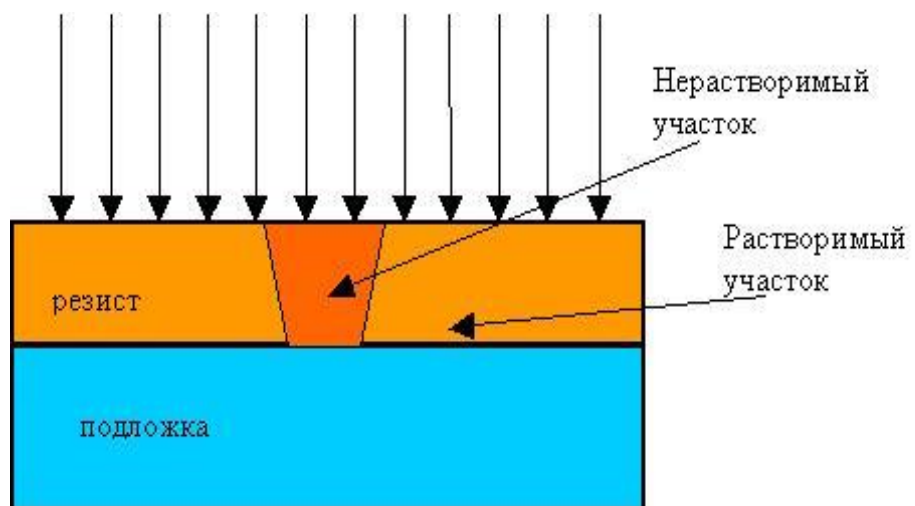


Рис. 3. Сплошное экспонирование пленки (без маски)

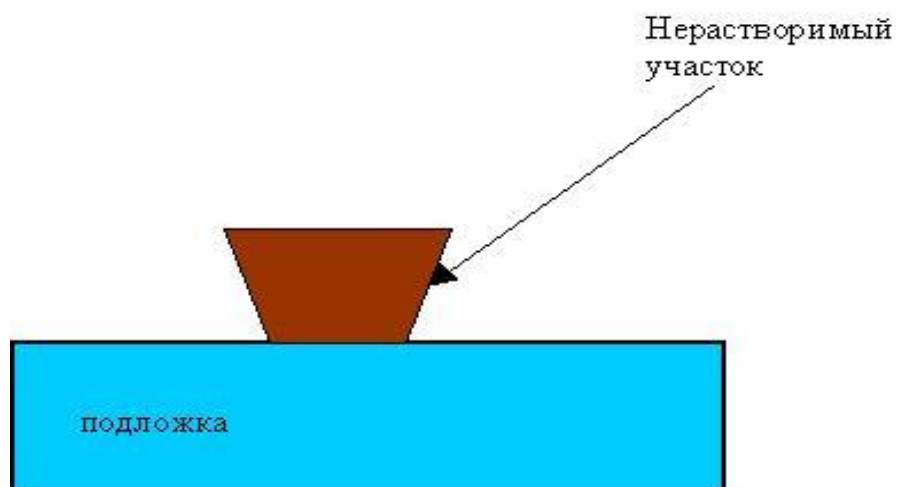


Рис. 4. Проявление пленки. (На подложке остается негативное изображение маски с отрицательным наклоном стенок)

Отрицательный наклон позволяет воспроизводимо удалять пленку металла, нанесенную посредством термического или плазмохимического напыления, даже в том случае, когда толщина слоя металла превышает толщину пленки фоторезиста ("взрывная литография", рис.5 и 6). В случае стандартного позитивного фоторезиста "взрывную литографию" осуществить не удастся (рис. 8)

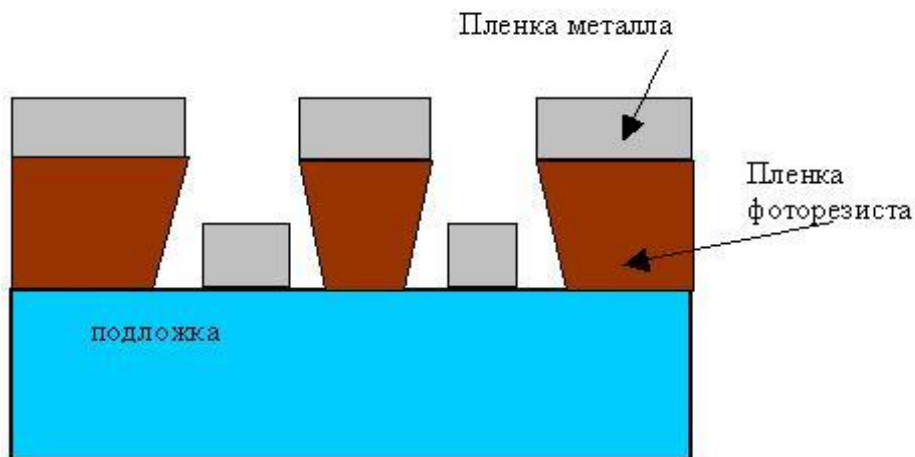


Рис.5. Взрывная литография. Толщина слоя металла мала

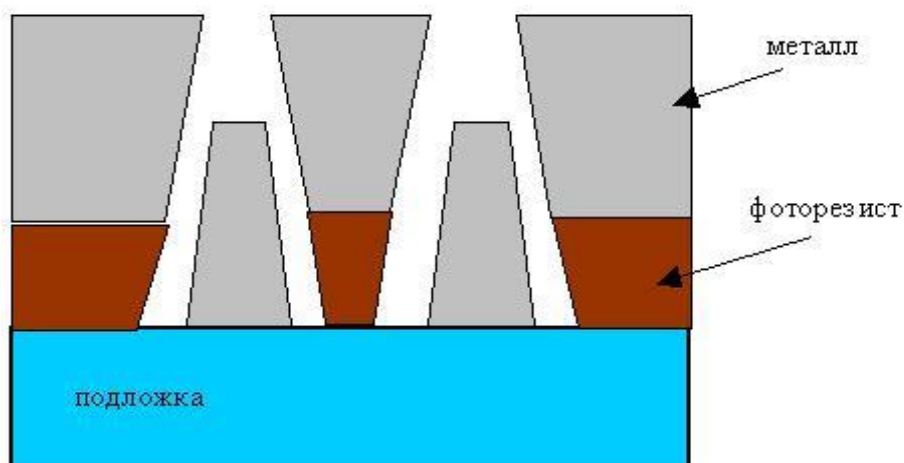


Рис.6. Толщина слоя металла превышает толщину пленки фоторезиста пленка металла

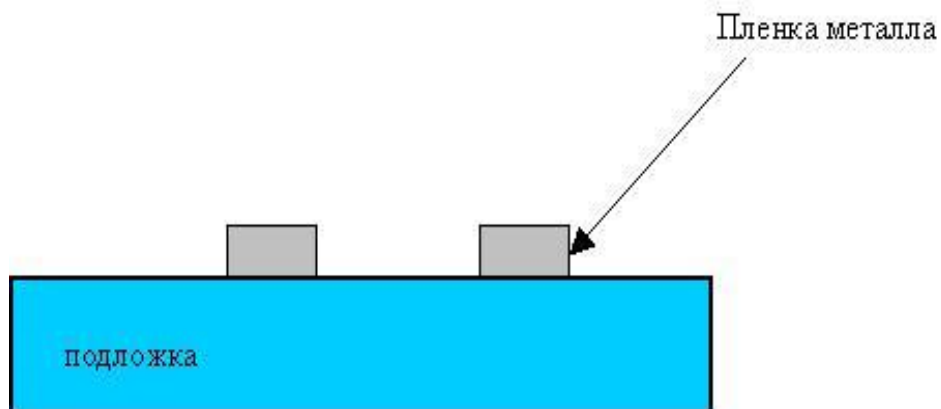


Рис.7. Снятие фоторезиста

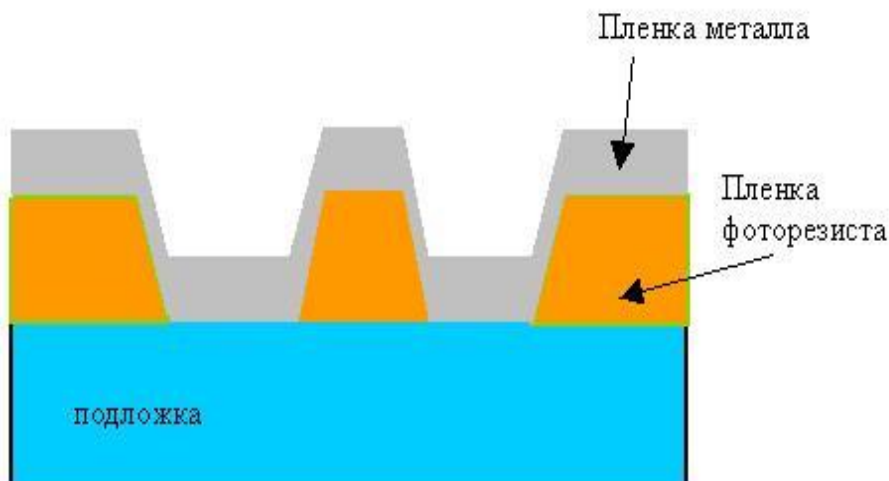


Рис.8. Осаждение металла на пленку стандартного позитивного фоторезиста. (Пленку фоторезиста трудно удалить)

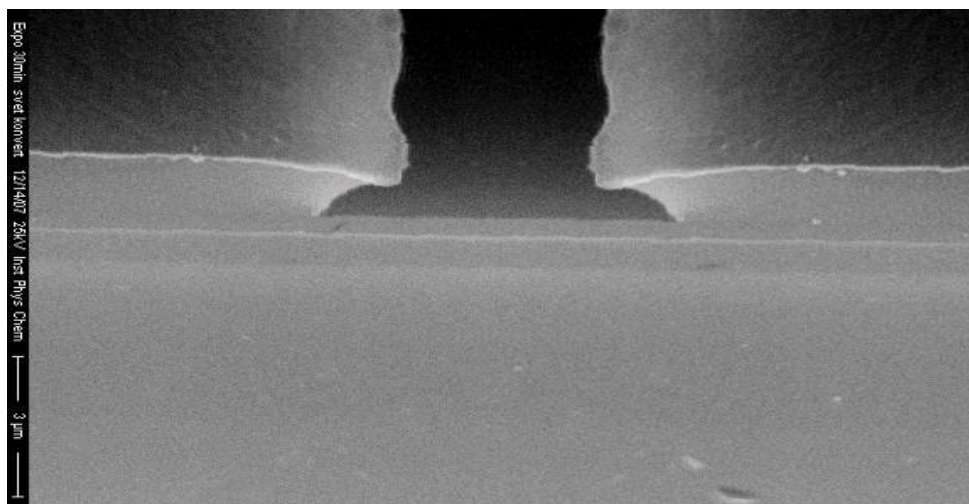


Рис.9. Фотография пары линий ФПН-20-ИЗО в поперечном сечении, полученная на электронном микроскопе. Хорошо виден отрицательный наклон линий.

Инструкция по применению фоторезиста для взрывной литографии ФПН-20-ИЗО

Общи сведения

Фоторезист ФПН-20-ИЗО является позитивным фоторезистом, однако, способен к обращению изображения с образованием негативного образа маски. Данный фоторезист предназначен для использования в технике взрывной литографии.

В отличие от позитивного процесса в технике взрывной фотолитографии отсутствует стадия травления подложки, но включены две другие стадии - это стадия обращения изображения и нанесения металла.

Отзывы потребителей фоторезиста ФПН-20-ИЗО

ФГУП НПП "Пульсар" г. Москва

Сообщаем Вам дополнительную информацию о испытаниях фоторезиста ФПН-20-ИЗО.

При нанесении на центрифуге со скоростью вращения 4000 об/сек толщина фоторезиста составила 1,9 мкм. На данной толщине успешно проведена технологическая операция "взрыва" пленки Ti/Au толщиной 0,18 мкм.

ОАО "Сатурн" г. Краснодар

Фоторезист ФПН-20-ИЗО прошел опробацию в технологическом маршруте изготовления ФП, включающем взрывной метод формирования контактов.

Выбранный нами оптимальный режим формирования маски:

1. Нанесение на центрифуге, 2000 об/мин
2. Сушка конвекционно-контактная, 95⁰, t=40 мин.
3. Экспонирование на установке ЭМ-576 с лампой ДРШ-350, t=30 сек.
4. Сушка конвекционно-контактная, 115⁰, t=30 мин.
5. Сплошная засветка, t=2 мин.
6. Проявление (в растворе УФП-1Б 1:3), t=1,5 мин

Полученный рисунок после выполнения операций 1-6 имел четкую конфигурацию края с отрицательным профилем, толщина маски ~ 1,4 мкм.

ОАО "НПП "РАДИЙ" г. Москва

Сообщаем Вам, о результатах опробования фоторезиста ФПН-20-ИЗО:

1. Для получения элементов с размером 2 микрона были проведены опытные работы для получения обращенной фоторезистивной маски с последующим напылением многослойной металлизации типа AuGe-Ni-Au и "взрывом" металла в диметилформамиде.

Толщина металлизации составляла до 0,5 мкм.

Разброс получаемой нами толщины маски обращенного фоторезиста составила 1,6-1,9 мкм

Были получены образцы пластин с четким краем металлизированных элементов и искажения не наблюдалось.

2. Фоторезист ФПН-20-ИЗО ("обращенный" вариант) использовался нами так же. Как маска при травлении рельефа на пластинах арсенида галлия, глубиной до 1,5 мкм в перекисно-аммиачном травителе, при этом "растравливания" элементов и искажения рисунка - не наблюдалось.

Так же опробована маска из обращенного ФПН-20-ИЗО при локальном травлении пленок SiO₂. И в этом применении ФПН-20-ИЗО качество печати рисунка соответствовало техническим требованиям.

3. В мае месяце сего года проведено опробование маски обращенного ФПН-20-ИЗО при проведении операции локального золочения. Опробование показало, что маска ФПН-20-ИЗО стабильна при локальном золочении с использованием электролита фосфатного типа в течение времени до 10 минут, что позволяет в перспективе использовать данный тип фоторезиста в технологии гальванического золочения полупроводниковых пластин.

В целом можно отметить, что применение фоторезиста ФПН-20-ИЗО в технологических процессах, в которых было заинтересованно наше предприятие, дало положительные результаты.

Технология применения фоторезиста ФПН-20-ИЗО

включает восемь следующих основных стадий:

№	НАИМЕНОВАНИЕ СТАДИИ	УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ	ПРИМЕЧАНИЯ
1	Нанесение	3000 об/мин, 40 сек	комнатная температура
2	Сушка	95 °С, 30 мин, конвекционный термошкаф или горячая плита 110 °С, 50 сек	
3	Экспонирование	40-90 мдж/см ²	подбирается экспериментально, мы рекомендуем УФ-Радиометр "ТКА-ПКМ"(06) с поверкой
4	Обращение изображения	115-125 °С, 30 мин, конвекционный шкаф	подбирается экспериментально, возможно использование горячей плиты 120 °С, 2 мин
5	Сплошное экспонирование	200-300 мдж/см ²	экспонируется вся пленка без маски
6	Проявление	45-70 сек	Универсальный буферный проявитель УПБ-1Б (1:3). Возможно использование 1% КОН
7	Нанесение металла	максимально допустимая температура 145°С	необходимо введение дополнительной термообработки пленки после проявления при температуре 145 °С
8	Удаление фоторезиста	50-60 °С, 15-30 мин	СПР-01Ф

Оптимизация

Рассмотрим более подробно отдельные этапы

- Нанесение и сушка пленки фоторезиста являются стандартными для позитивных фоторезистов
- Оптимальная доза экспонирования подбирается экспериментально, чтобы обеспечить отрицательный наклон стенок фоторезиста и, одновременно, достаточную толщину пленки после стадии проявления. Уход толщины пленки после проявления не должен превышать 10%
- Наиболее критичной является температура термообработки, однажды оптимизированная, она должна контролироваться в пределах плюс-минус 1°С для обеспечения воспроизводимого процесса. В любом случае она будет находиться в пределах от 115 до 125 °С. Если температура обращения будет выбрана слишком высокой (> 130 °С), то пленка резиста будет термически сшиваться даже в не экспонированных областях, не давая никакого изображения. Чтобы найти оптимальную температуру термообработки предлагается следующая процедура:
Нанесите пять пленок фоторезиста и проведите предварительную сушку. Затем без **экспонирования УФ - светом** проведите термообработку пленок фоторезиста при различных температурах обращения, например 115 °С, 120 °С, 125 °С и 130 °С в течение 30 мин. После этого проведите сплошное экспонирование пленок дозой УФ - света свыше 200 мдж/см² и погрузите их в стандартный проявитель на одну минуту. С некоторых подложек фоторезист будет снят, на других (обработанных при высоких температурах) останется сшитый фоторезист. Оптимальная температура для обращения изображения \sqrt на 5 -10 °С ниже температуры начала структурирования пленки
- Экспонирование. Оптимальная доза экспонирования эта такая доза, при которой обеспечивается отрицательный наклон стенок фоторезиста и, одновременно, достаточную толщину пленки после проявления

Следует заполнить следующую таблицу:

Доза экспонирования изображения, мдж/см ²	Доза сплошного экспонирования, мдж/см ²	Начальная толщина пленки, мкм	Остаточная толщина негативного изображения, мкм
30	200		
60	200		
90	200		

* условия обращения - оптимальные

* время проявления - 60 сек

Доза экспонирования выбирается минимальной, при которой остаточная толщина негативного изображения составляет примерно 90% от начальной толщины. Условия обращения изображения - это оптимальные условия, установленные на стадии 3

- Сплошное экспонирование. Доза сплошного экспонирования (без маски) обычно составляет 200-250 мдж/см²
- Проявление. В качестве проявителя целесообразно использовать универсальный буферный проявитель УПФ-1Б, разбавленный в соотношении 1:3. Это обеспечит воспроизводимость и чистоту проявления, хотя можно использовать 1% раствор КОН
- Нанесение металла. Если в процессе нанесения металла развиваются температуры выше 130 °С, то возможно частичное оплавление рисунка. Для повышения термостойкости пленки фоторезиста целесообразно после проявления рисунка провести двухступенчатую термообработку пленки для удаления остаточных растворителей:
 - а) 130 °С - 15 минут
 - б) 145 °С - 15 минут
- Удаление пленки резиста. Мы рекомендуем использовать сниматель СПР-01Ф. Этот сниматель изготовлен на основе высококипящих органических растворителей, что позволяет повышать температуру удаления пленки резиста до 80 °С для полного удаления сильно структурированных пленок. Возможно использовать и другие сниматели, не содержащие щелочей

Безопасность и хранение

Условия безопасного обращения с фоторезистом ФПН-20-ИЗО стандартные для позитивных фоторезистов. Условия хранения, однако, несколько отличаются. Фоторезист ФПН-20-ИЗО следует хранить в исходной бутылке из коричневого стекла при температуре 10-15 °С. Срок гарантийного хранения 6 месяцев.

Перед применением фоторезист в закрытой бутылке выдерживают при комнатной температуре не менее 1 часа.