

Школа производства ГПИС.

Очистка поверхности пластин и подложек

В предыдущих номерах («Технологии в электронной промышленности», № 3, 4, 5 2007 г.) мы рассказывали о процессе фотолитографии. Но качество данного процесса во многом зависит от подготовки пластин и подложек, поступающих на создание топологии. В данной статье рассказывается об операциях очистки пластин и подложек, рассматриваются классификация методов, преимущества и недостатки каждого из них и более подробно — наиболее часто применяемые и перспективные методы.

Максим Шмаков

mhm-shmakov@yandex.ru

Валерий Паршин,
к. т. н.
Александр Смирнов

Вместо введения

Перед тем как приступить к операциям очистки поверхности, необходимо знать природу, характер и источник загрязнений.

Поверхностные атомы пластин (подложек) по сравнению с объемными имеют большое количество ненасыщенных химических связей, чем объясняется высокая адсорбционная способность, приводящая к загрязнениям. В зависимости от типа взаимодействия загрязняющего вещества с поверхностью различают физическую и химическую адсорбцию.

Физическая адсорбция является результатом межмолекулярного (силы Ван дер Ваальса) электростатического кулоновского взаимодействия. Адсорбированные частицы, совершая тепловые движения, могут преодолеть силы связи и оторваться (десорбция) от поверхности, то есть адсорбция — процесс обратимый. Физически адсорбированные загрязнения располагаются на поверхности в несколько слоев и сравнительно легко удаляются чистым растворителем, отжигом (испарением) в вакууме.

Химическая адсорбция является необратимым процессом, так как между загрязнениями и поверхностью образуются прочные химические связи. Загрязнения закрепляются только одним слоем (монослой), удалить их более сложно.

Источники загрязнения представлены на рис. 1 и в таблице 1. Степень и состав загрязнений различны при разных обработках.

На поверхности пластин и подложек одновременно могут присутствовать многие виды загрязнений. Наиболее трудноудаляемыми являются органические и некоторые химически связанные с поверхностью загрязнения. Из физических загрязнений наиболее сложно удаляются мелкие зерна абразива, внедренные в поверхностный слой. Из растворимых в воде полярных загрязнений удаляются подвижные ионы металлов, изменяющие электропроводность поверх-

Таблица 1. Типичные загрязнения полупроводниковых пластин и их источники

Загрязнения	Возможные источники
Волокна (нейлон, целлюлоза и т. д.)	Одежда, ткани, бумажные изделия
Силикаты	Горные породы, песок, почва, зола, пепел
Окислы и окалина	Продукты окисления некоторых металлов
Масла и жиры	Масла от машинной обработки, отпечатки пальцев, жиры с открытых участков тела, средства для волос, мази, лосьоны
Силиконы	Аэрозоли для волос, кремы, лосьоны после бритья, лосьоны для рук, мыло
Металлы	Порошки и отходы машинной обработки и шлифовки; изготовление металлических частей; частицы из металлических банок для хранения и металлических контейнеров
Ионные примеси	Продукты дыхания, отпечатки пальцев (хлорид натрия) Примеси из очищающих растворов, содержащие ионные детергенты Некоторые флюсы Примеси от предварительной химической операции, такой как травление или металлизация
Неионные примеси	Неионные детергенты, органические материалы для обработки
Растворимые примеси	Очищающие растворители и растворы



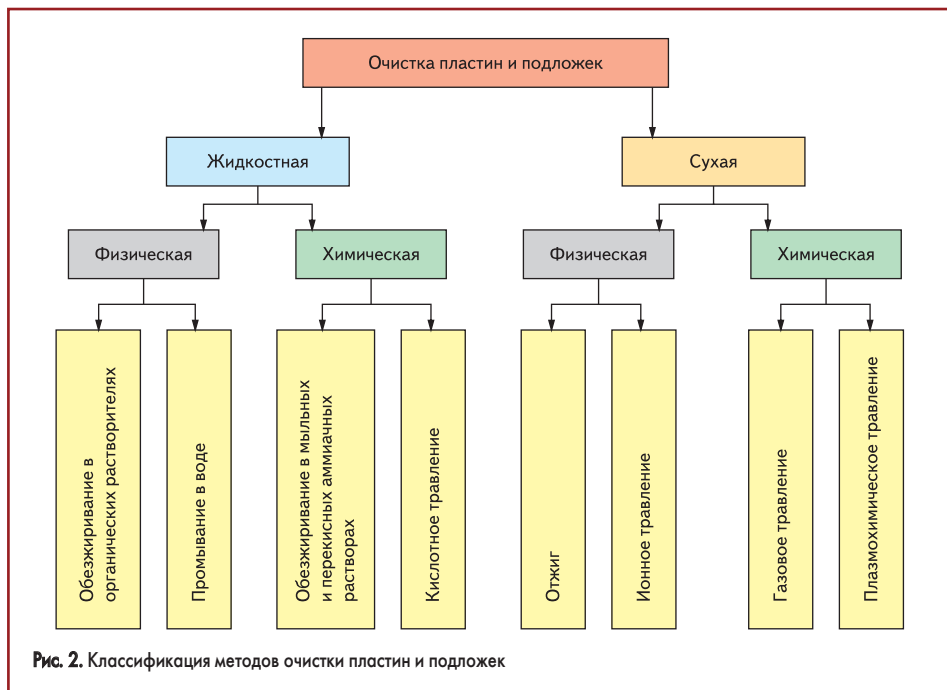


Рис. 2. Классификация методов очистки пластин и подложек

ности. В то же время получить идеально чистую поверхность (без посторонних примесей) практически невозможно. Поэтому применяемое в технике понятие «чистая поверхность» имеет относительный характер. Технологически чистой считают поверхность, которая имеет концентрацию примесей, не препятствующую воспроизводимому получению заданных значений и стабильности параметров ИМС. Допустимая концентрация примесей на поверхности пластин зависит от сложности ИМС и способа ее формирования, в худшем случае она не должна превышать 10^{-8} г/см².

В соответствии с применяемыми средствами очистку делят на жидкостную и сухую. Классификация методов очистки приведена на рис. 2.

Жидкостная очистка

Жидкостная очистка (далее ЖО) выполняется органическими растворителями; разнообразными составами, содержащими щелочи, кислоты, пероксид и другие реактивы, водой. Подобрать жидкое средство, одновременно удаляющее все возможные поверхностные загрязнения, практически невозможно, поэтому ЖО включает ряд последовательных операций. Нерастворимые в воде органические жировые загрязнения делают поверхность гидрофобной, то есть плохо смачиваемой водой и большинством растворов. Для равномерной очистки поверхности подложек (пластин) необходимо перевести в гидрофильное, то есть хорошо смачиваемое водой, состояние. Операция удаления жировых загрязнений, сопровождаемая переводом поверхности из гидрофобного в гидрофильное состояние, называется обезжириванием (обезжиривание — первая операция при ЖО).

Физическая очистка

При очистке в первую очередь необходимо удалить молекулярные, органические и химически связанные с поверхностью загрязнения,

а затем — остаточные ионные и атомарные. При физической ЖО происходит десорбция адсорбированных поверхностью загрязнений без изменения их состава, то есть без химических реакций, путем простого растворения. Поскольку возможно обратное загрязнение поверхности из очищаемой жидкости, необходимо следовать принципу ее непрерывного обновления (освежения).

Обезжиривание

Обезжиривание (отмывка) в органических растворителях применяется для удаления с поверхности пластин (подложек) жиров животного и растительного происхождения, минеральных масел, смазок, воска, парафина и других органических и механических загрязнений. (В качестве растворителей наиболее часто применяют четыреххлористый углерод, бензол, толуол, изопропиловый спирт, фреон и др., в которых эффективно растворяется большинство жировых загрязнений.)

Десорбция молекул жира с обрабатываемой поверхности происходит в результате их собственных колебательных движений и притяжения со стороны молекул растворителя. Если силы связи с поверхностью меньше сил притяжения молекулами растворителя, частицы жира отрываются от поверхности и благодаря диффузии распространяются по объему обрабатываемой жидкости. На очищаемую поверхность адсорбируются молекулы растворителя и могут также вновь попасть молекулы жира и загрязнения самого растворителя. Именно поэтому применяют очищенные растворители, во время обезжиривания создают условия для максимальной растворимости и минимальной обратной адсорбции на обрабатываемую поверхность загрязнений из растворителя, а после обезжиривания удаляют с поверхности его остатки.

При выборе обезжиривающего состава необходимо учитывать, что большинство органических растворителей неполярны, они растворяют только неполярные органические за-

грязнения. Поэтому вначале неполярными или слабополярными растворителями (бензолом, толуолом, четыреххлористым углеродом) удаляют неполярные загрязнения (парафины, вазелины, минеральные масла). Затем ацетоном, спиртами, трихлорэтиленом и другими полярными растворителями удаляют полярные загрязнения (жиры, белки, следы поверхностно активных веществ — ПАВ). Для интенсивного одновременного удаления полярных и неполярных органических загрязнений в промышленном производстве широко применяют смеси различных растворителей.

Определяющими параметрами процесса являются температура и время. Растворимость жиров увеличивается с повышением температуры. Поэтому обезжиривание осуществляют в горячих или кипящих растворителях.

Обезжиривание в органических растворителях наиболее часто выполняют погружением (рис. 3), в парах, с помощью ультразвука, струйной обработкой.

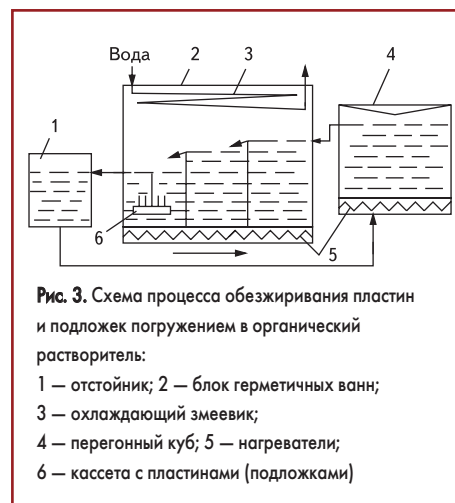


Рис. 3. Схема процесса обезжиривания пластин и подложек погружением в органический растворитель:

- 1 — отстойник; 2 — блок герметичных ванн;
- 3 — охлаждающий змеевик;
- 4 — перегонный куб; 5 — нагреватели;
- 6 — кассета с пластинами (подложками)

Недостатки обезжиривания в органических растворителях:

- необходимость предварительной очистки (удорожание технологического процесса — ТП);
- необходимость создания герметичных рабочих камер установок из-за больших потерь растворителя в результате испарения;
- большие расходы растворителя из-за возможности обратной адсорбции загрязнений из жидких растворителей;
- токсичность, легкая воспламеняемость, образование с воздухом взрывоопасных смесей, что требует большой осторожности и соблюдения правил техники безопасности при работе с большинством органических растворителей.

Ультразвуковое обезжиривание выполняют в специальных ваннах, дно и стенки которых совершают механические колебания с ультразвуковой (УЗ) частотой (рис. 4).

Эффективность очистки зависит от частоты и мощности УЗ-колебаний, температуры и времени обработки, а также от состава раствора, характера и степени загрязнений.

С повышением частоты увеличивается проникающая способность жидкости за счет уменьшения длины волны УЗ-колебаний, уменьшается вероятность разрушения образ-

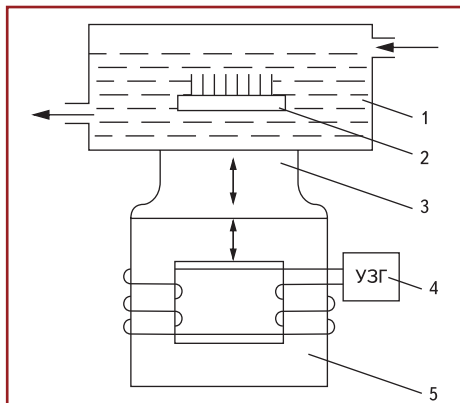


Рис. 4. Схема процесса УЗ-очистки в потоке:

- 1 — ванна; 2 — кассета с пластинами;
3 — концентратор; 4 — УЗ-генератор;
5 — магнитострикционный излучатель

цов за счет уменьшения размеров кавитационных пузырьков. С повышением мощности УЗ-колебаний до определенных значений интенсивность кавитации возрастает. Повышение температуры повышает растворимость загрязнений и влияет на условия возникновения кавитации. Для каждой жидкости существует оптимальная температура обработки.

Обработку пластин и подложек обычно ведут при УЗ-колебаниях, когда кавитация отсутствует и очистка интенсифицируется за счет вихревых акустических протоков жидкости.

УЗ-колебания значительно повышают производительность и улучшают качество не только обезжиривания, но и других операций жидкостной обработки.

Отмывка водой

Отмывка водой применяется для очистки от остатков полярных растворителей после обезжиривания, от остатков травителей, флюсов, кислот, щелочей, солей и других загрязнений. Так же, как и в органических растворителях, отмывка в воде сопровождается растворением загрязнений или механическим смыванием пылинок, ворсинок и других частиц.

Отмывку выполняют в подогретой до 50–60 °С деионизованной воде. При меньших температурах отмывка недостаточно эффективна, при больших температурах возможно закрепление на обрабатываемой поверхности остатков некоторых загрязнений, например остатков щелочных растворов в результате гидролиза щелочных солей. После отмывки в подогретой воде пластины (подложки) отмывают в холодной воде, чтобы на поверхности не осталось следов перешедших в воду загрязнений, что имеет место при быстром испарении воды (когда пластины подогреты).

Отмывку в воде выполняют погружением, в потоке в многокаскадных ваннах, струей, гидромеханическим способом, в УЗ-ваннах.

Отмывка погружением отличается простотой, применяется в основном в лабораторных условиях и на начальных стадиях для очистки сильно загрязненных пластин (подложек).

Отмывка в потоке в многокаскадных ваннах обеспечивает непрерывный отвод загрязнений от пластин. Кассеты с пластинами пе-

реносят из одной ванны в другую навстречу движению воды.

Отмывка струей выполняется в установках с системой циркуляции и подогрева воды. Вода подается через форсунки под давлением 50–200 кПа на движущиеся пластины, расположенные на диске центрифуги. Частота вращения центрифуги 200–600 об/мин. Достоинством струйной отмывки являются непрерывная смена воды и гидромеханическое воздействие струи на обрабатываемую поверхность, способствующие эффективному удалению загрязнений. Кроме того, удаление загрязнений интенсифицируется за счет возникающих центробежных сил.

Гидромеханическая отмывка выполняется с помощью беличьих кистей или капроновых (нейлоновых) щеток, которые, совершая сложные вращательные движения (рис. 5), способствуют обновлению воды непосредственно около очищаемых пластин, увеличивают смачиваемость поверхности и механически сбивают загрязнения. Пластины крепятся вакуумным способом. Деионизованная вода подается под давлением. К недостаткам гидромеханической отмывки относятся возможность обратного перехода загрязнений с кистей (щеток) на обрабатываемые поверхности, вероятность загрязнений за счет износа кистей или щеток, необходимость периодической тщательной очистки самих щеток, кистей.

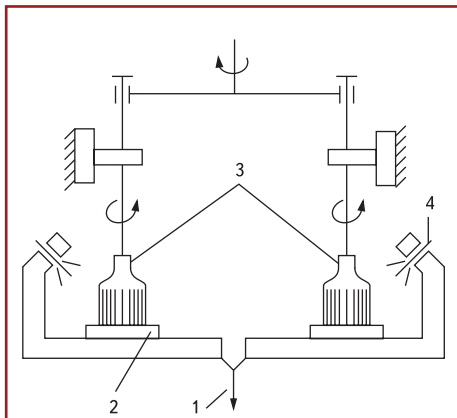


Рис. 5. Схема процесса гидромеханической отмывки:

- 1 — слив воды; 2 — обрабатываемая пластина;
3 — кисти; 4 — подача воды

Химическая очистка

Этот вид обработки предусматривает разрушение загрязнений или поверхностного слоя очищаемого объекта в результате химических реакций.

Химическое обезжиривание

Химическое обезжиривание выполняют в составах, разрушающих молекулы жира, но не действующих на обрабатываемый материал. В раствор переходят продукты реакции, поэтому обратное загрязнение молекулами жира практически отсутствует.

Обезжиривание в растворах моющих порошков иногда применяют для предварительной очистки непосредственно после механического полирования, которое проводится

с приклейкой пластин. Пластины отмывают в наклеенном на полировочные диски состоянии. В процессе обезжиривания такими растворами омыляемые жиры переводятся в мыла, представляющие собой растворимые в воде соли, которые удаляются последующей отмывкой в воде.

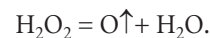
К омыляемым жирам относятся все растительные и животные жиры, являющиеся сложными эфирами глицерина и высокомолекулярных органических кислот.

Обезжиривание в щелочах сопровождается химической реакцией. Неомыляемые жиры при этом не разлагаются, но могут образовывать эмульсии, особенно при введении в щелочь ПАВ. Эмульсии удерживают загрязнения в моющем растворе, предотвращая их обратное попадание на очищаемую поверхность. Для поддержания постоянной концентрации щелочи в раствор вводят соли щелочных металлов, которые, взаимодействуя с водой, образуют щелочь.

Обезжиривание ведут при температуре 70–90 °С путем погружения, распыления, в УЗ-ваннах.

Обезжиривание в пероксидно-аммиачных растворах (ПАР), состоящих из пероксида водорода, гидроксида аммония и воды ($H_2O_2 : NH_4OH : H_2O = 1 : 1 : 4$), широко применяют на различных этапах технологии изготовления микросхем. Такой раствор обладает лучшими обезжиривающими свойствами по сравнению с органическими растворителями, является универсальным средством, так как удаляет как омыляемые, так и неомыляемые жиры, неорганические загрязнения, а также ионы натрия, меди, серебра и других металлов.

В процессе обезжиривания пероксид разлагается с выделением атомарного кислорода:



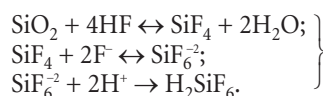
Выделение атомарного кислорода увеличивается с повышением температуры, поэтому процесс ведут при 80–90 °С. Атомарный кислород окисляет как органические, так и неорганические загрязнения. Щелочь NH_4OH ускоряет реакцию разложения пероксида, омыляет или эмульгирует жиры, а также связывает в хорошо растворимые комплексы некоторые металлы первой и второй групп периодической таблицы Менделеева. Процесс сопровождается пенообразованием благодаря интенсивному выделению углекислого газа при окислении органических загрязнений.

По сравнению с физическим обезжириванием в органических растворителях химическое обезжиривание менее опасно для работающих и окружающей среды, отличается меньшим расходом реактивов и меньшей трудоемкостью процессов, более высоким качеством отмывки пластин. Обработка в составах, содержащих кислоты, после очистки в ПАР не вносит дополнительных загрязнений поверхности, как это имеет место после обезжиривания в органических растворителях. В последнем случае остатки органических растворителей обугливаются кислотами, загрязняя поверхность.

Отмывка в кислотах применяется для очистки поверхности от атомов и ионов металлов, от жировых загрязнений, а также от оксидов, нитридов, сульфидов и других химических соединений. Удаление ионов металлов сопровождается их вытеснением ионами водорода. Для удаления атомов металлов применяют кислоты, растворяющие эти металлы. Для предотвращения обратной адсорбции металлов на очищаемую поверхность применяют комплексообразователи, образующие с ионами металлов устойчивые соединения, — комплексы, которые остаются в растворе.

Для удаления с поверхности кремниевых пластин оксидных пленок применяют растворы фтористоводородной кислоты в ацетоне в объемных соотношениях 1 : 15.

Ацетон применяют вместо воды для уменьшения загрязнения пластин кремния твердым осадком кремнефтористоводородной кислоты, которая образуется при избытке в растворе ионов фтора в результате химических реакций:



Диссоциация фтористоводородной кислоты в ацетоне, а следовательно, и концентрация ионов F⁻ снижаются благодаря его низкой диэлектрической постоянной ($\epsilon_a = 21$) по сравнению с водой ($\epsilon_a = 80$). Соответственно уменьшается и загрязнение поверхности пластин кремния твердым продуктом реакции H_2SiF_6 .

Отмывка в пероксидно-кислотных растворах (ПКР) или растворах кислот с другими сильными окислителями эффективно удаляет атомы и ионы металлов, органические загрязнения. На практике предпочтительнее применять азотную кислоту, имеющую перед другими кислотами ряд преимуществ. При нагревании она легко разлагается, не образуя вредных соединений, эффективно связывает в комплексы ионы щелочных металлов. Промежуточным продуктом химических реакций является азотистая кислота HNO_2 , которая при взаимодействии с пероксидом водорода образует надазотистую кислоту $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_8$, обладающую сильным окислительным действием, что способствует удалению загрязнений. Обработку кремниевых пластин в ПКР ($\text{H}_2\text{O}_2 : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 1$) выполняют при температуре 75–85 °С, содержание воды в растворе меняют в зависимости от степени загрязнения пластин. Для сильнозагрязненных пластин кремния рекомендуют применять смесь пероксида с кислотой без воды.

Хорошие результаты обеспечивает очистка кремния в растворе «Каро» ($\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 3 : 1$) при 130 °С. Однако процесс необходимо проводить с соблюдением строгих мер техники безопасности.

Травление

Травление — очистка, при которой удаляется приповерхностный слой пластины или подложки.

Травление обычно проводится после обезжиривания, так как только в этом случае тра-

витель хорошо смачивает всю поверхность пластин и верхний слой удаляется равномерно.

Процесс травления можно разбить на пять стадий:

- 1) диффузия реагентов к обрабатываемой поверхности;
- 2) адсорбция реагентов поверхностью;
- 3) химическое взаимодействие реагентов с обрабатываемым материалом;
- 4) десорбция продуктов химических реакций;
- 5) диффузия продуктов химических реакций от поверхности.

Скорость всего процесса определяется скоростью наиболее медленной (контролирующей) стадии. При травлении кремния контролирующими стадиями могут быть либо диффузия реагента к поверхности, либо поверхностная химическая реакция, что определяется видом травителя и энергией активации стадий процесса.

Травители, в которых самыми медленными, определяющими суммарный процесс травления этапами являются диффузионные, называются полирующими. Они нечувствительны к физическим и химическим неоднородностям поверхности, сглаживают шероховатости, выравнивания микрорельеф.

Скорость травления $V_{тр}$ в полирующих травителях определяется скоростью диффузии реагента V_d и зависит от градиента его концентрации:

$$V_{тр} = V_d = D(N_{об} - N_{нов})/\delta, \quad (1)$$

где D — коэффициент диффузии реагента, зависящий от природы и энергии активации молекул реагента; $N_{об}$ и $N_{нов}$ — концентрация реагента в объеме и на поверхности; δ — толщина приповерхностного слоя травителя, в котором существует градиент концентрации.

Полирующие свойства травителя можно усилить, уменьшив скорость диффузионных процессов.

При этом скорость травления нечувствительна к физическим и химическим неоднородностям поверхности, слабо зависит от температуры. Вследствие более высокого градиента концентрации выступы на поверхности травятся быстрее впадин. Поэтому полирующие травители хорошо сглаживают шероховатости, выравнивая микрорельеф. Типичными полирующими травителями для кремниевых пластин являются смеси азотной и фтористоводородной (плавиковой) кислот.

Травители, в которых самыми медленными являются поверхностные химические реакции, называются селективными. Скорость травления в них зависит от температуры, структуры и кристаллографической ориентации поверхности и не зависит от вязкости и перемешивания травителя. Селективные травители с большой разницей скоростей травления в различных кристаллографических направлениях принято называть анизотропными.

В зависимости от целей травления применяют те или иные травители. Так, для подготовки пластин кремния к изготовлению структур микросхем применяют полирующие травители. В процессе изготовления структур для

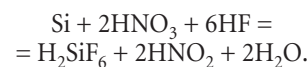
обеспечения изоляции элементов с помощью анизотропных травителей в кремнии вытравливают углубления. Для выявления поверхностных дефектов также применяют селективные травители.

Кислотное травление кремния обеспечивает получение зеркально гладкой поверхности пластины любой кристаллографической ориентации с шероховатостью от 12-го до 14-го класса.

Травитель должен обладать полирующей способностью, достаточной и стабильной скоростью травления, малой истощаемостью и устойчивостью при хранении. Этим требованиям для кремния удовлетворяют травители на основе смеси азотной и фтористоводородной кислот.

Кислотное травление кремния представляет собой окислительно-восстановительный процесс с растворением продуктов окислительной реакции. На энергетически выгодных участках поверхности пластин кремния (места физических и химических неоднородностей) идут одновременно анодные реакции окисления кремния азотной кислотой с последующим растворением оксида кремния фтористоводородной кислотой (комплексообразователем) и катодные реакции восстановления окислителя (азотной кислоты). Электрически «аноды» и «катоды» связаны друг с другом травителем.

Сопряженные процессы, идущие с одинаковой скоростью, на микроанодных и микрокатодных участках пластины при травлении в смеси азотной и фтористоводородной кислот можно выразить следующей суммарной реакцией:



Полученная в результате катодной реакции азотистая кислота HNO_2 является более сильным окислителем, чем азотная кислота HNO_3 .

Скорость травления кремния зависит от соотношения кислот в травителе (рис. 6), интенсивности перемешивания травителя и его температуры (рис. 7). С увеличением содержания азотной кислоты травление замедляется, так как скорость окисления поверхности превосходит скорость растворения оксида кремния.

Лучшими полирующими свойствами обладают травители с большим содержанием азотной кислоты ($\text{HNO}_3 : \text{HF} = 2 : 1$ или $3 : 1$). Для уменьшения скорости травления к основным кислотам добавляют уксусную кислоту

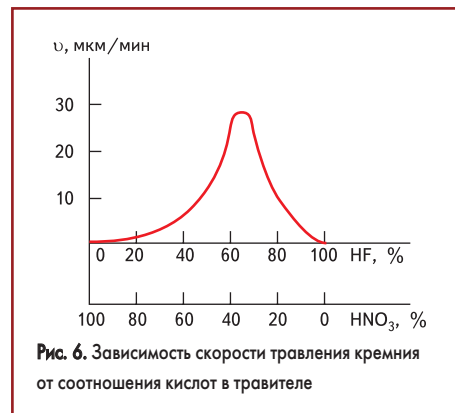


Рис. 6. Зависимость скорости травления кремния от соотношения кислот в травителе

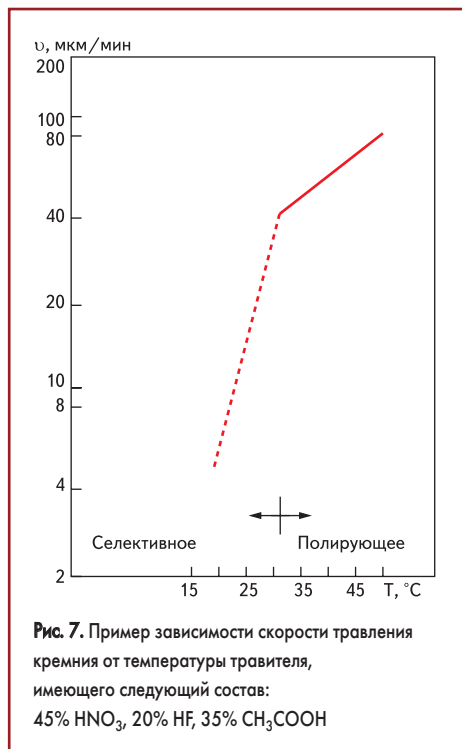


Таблица 2. Основные кислотные травители для кремния

Объемный состав	Применение	Время травления
HNO ₃ : HF = 2 : 1	Химическое полирование	1–2 мин
HNO ₃ : HF : CH ₃ COOH = 5 : 3 : 5	Химическое полирование и выявление границ p-n-переходов	2–3 мин
HNO ₃ : HF = 3 : 1	Химическое полирование плоскостей (111)	15 с
HNO ₃ : HF : CH ₃ COOH = 3 : 1 : 8	Медленное химическое полирование любых плоскостей	1–16 ч

CH₃COOH (табл. 2), которая замедляет окисление кремния и растворение оксида и облегчает управление процессом травления.

Поскольку энергия активации химической реакции зависит от неоднородности поверхности, скорость травления чувствительна к состоянию поверхности. Так как различные кри-

сталлографические плоскости структуры кремния имеют разное значение ΔE_a, то скорость травления зависит от ориентации пластин, а также от температуры.

Механизм щелочного травления кремния химический, происходящие во время него окислительно-восстановительные реакции являются чисто химическими взаимодействиями поверхностных атомов полупроводниковой пластины с молекулами травителя. Для травления кремния применяют водные растворы гидроксида (KOH) калия или натрия (NaOH). Роль окислителя выполняет вода, роль растворителя оксида (комплексобразователя) — гидрооксид.

Процесс травления кремния сопровождается химическими реакциями:

- окислительно-восстановительная стадия — $Si + H_2O = SiO_2 + 2H_2$;
 - гидратация оксида — $SiO_2 + nH_2O = SiO_2 \cdot nH_2O$;
 - растворение гидратированного оксида — $SiO_2 \cdot nH_2O + 2KOH = K_2SiO_3 + (n+1)H_2O$.
- Суммарная реакция щелочного травления кремния имеет вид:



Скорость травления возрастает с увеличением температуры и концентрации травителя. Для обеспечения постоянной скорости травления необходимо перемешивание травителя, так как процесс сопровождается выделением тепла. Скорость травления максимальна при 30%-ной концентрации травителя. Травление кремния выполняют при 90–100 °C в растворах, содержащих 10–30% щелочи.

Щелочное травление кремния имеет анизотропный характер, дает блестящую, но не зеркально гладкую поверхность. Оно применяется для выявления дислокаций и других дефектов, уточнения пластин. При изготовлении пластин кремния большого диаметра кислотное травление не позволяет сохранять требуемую плоскопараллельность сторон и однородность геометрических параметров.

Для удаления механически нарушенного слоя после шлифования и снятия фаски пластин большого диаметра целесообразнее применять щелочное травление.

Щелочное травление применяют также для локального анизотропного травления V-образных канавок в кремниевых пластинах, ориентированных в плоскости (100), необходимых для изоляции элементов микросхем. Подбирая определенную ориентацию окна в контактной маске, можно за счет большой разницы скоростей травления в направлениях (100) и (111) получать углубления воспроизводимой формы. (Для селективных травителей характерная разница скоростей травления в различных кристаллографических направлениях достигает одного порядка и более. Так, для щелочных травителей изменение скорости травления соответствует схеме (100) > (110) > (111).)

Техника проведения процесса определяется целями травления. Химико-динамическое травление применяют для получения пластин с высоким качеством поверхности, соответствующим 14-му классу шероховатости, и точными геометрическими параметрами. Процесс легко автоматизируется, отличается высокой производительностью, малыми затратами реактивов, изоляцией опасной зоны от оператора. Химико-динамический способ широко применяют в промышленности как для плоского, так и для рельефного травления при получении различных углублений.

Травление погружением в статическом режиме применяют, когда нет высоких требований к качеству поверхности и геометрии пластин. При этом рекомендуют вращать, приподнимая и опуская, кассеты с пластинами. Этого оказывается недостаточно для выравнивания условий травления каждого микроучастка пластин, в результате ухудшается их плоскопараллельность и появляются завалы по периферии.

Для примера приведем этапы очистки керамических подложек перед нанесением пленок:

- 1) обезжиривание УЗ-эмульгированием;
- 2) отмывка от остатков эмульсии погружением в чистый растворитель;
- 3) обезжиривание в парах растворителя;
- 4) кипячение в ПАР;
- 5) промывка горячей деионизованной водой;
- 6) инфракрасная сушка.

Продолжение следует