

быть положено в основу гранично-зеренной инженерии в пленках  $\text{CoSi}_2$ . Метод латерально направленного роста из расплава  $\text{Co-Si}$  с помощью позиционирования электронного луча позволяет управлять зеренной микроструктурой и созданием монокристаллических областей с заданным расположением межзеренных границ. Некоторые типы модельных структур, основанных на использовании буферного слоя  $\text{CoSi}_2$  с заданным положением межзеренных границ и применяющихся в технологии устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников, описаны в [9, 10].

Дальнейшая проработка описанного метода может быть основой для создания технологии самоформирующихся наноструктурированных компонентов кремниевых интегральных схем и ее интеграции с традиционными методами изготовления основных элементов наноэлектронных схем.

#### Выводы

Таким образом, исследование процессов локального зарождения и последующей направленной латеральной кристаллизации силицидной фазы кобальта на поверхности монокристаллического кремния показали, что выделение тепла при экзотермической реакции силицидообразования инициирует процесс самоподдерживающегося латерального разрастания и последующей коалесценции фазы  $\text{CoSi}_2$ . Это позволяет целенаправленно и управляемо формировать наноразмерные структуры методом самоорганизации и воспроизводить их с достаточной для прикладных целей точностью.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Валиев К. А. Микроэлектроника: достижения и пути развития.— М.: Наука, 1986.
2. Федотов Я. А., Щука А. А. Альтернативы развития микроэлектроники // Микроэлектроника и полупроводниковые приборы.— 1989.— Вып. 10.— С. 22—41.
3. Моррисон С. Р. Химическая физика поверхности твердого тела.— М.: Мир, 1980.
4. Cross M. C., Hohenberg P. C. Periodic state in multiphase systems // Rev. Mod. Phys.— 1993.— Vol. 65.— P. 851—857.
5. Белоусов И. В., Кузнецов Г. В., Пчеляков О. П. Направленная латеральная кристаллизация силицидной фазы кобальта на поверхности кремния // Физика и техника полупроводников.— 2006.— Т. 40, № 8.— С. 909—912.
6. Derrien J., Avitaya F. A. Thin metallic silicide films epitaxially grown on Si(111) and their role in Si-metal-Si devices // Journ. Vac. Sci. Technol.— 1987.— Vol. 5, N 4.— P. 2111—2120.
7. Tung R. T. Epitaxial silicide interfaces: fabrication and properties // Ibid.— 1989.— Vol. 7, N 3.— P. 598—605.
8. Belousov I., Grib A., Linzen S., Seidel P. Cobalt silicide formation inside surface defects of a silicon substrate // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research.— 2002.— Vol. 186.— P. 61—65.
9. Kumar F., Narayan J. Superconducting  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  thin films on Si(100) substrates with  $\text{CoSi}_2$  buffer layers by an in situ pulsed laser evaporation method // Appl. Phys. Lett.— 1991.— Vol. 59, N 14.— P. 1785—1787.
10. Belousov I., Kus P., Linzen S., Seidel P.  $\text{CoSi}_2$  buffer films on single crystal silicon with Co ions pre-implanted surface layer for  $\text{YBCO}/\text{CoSi}_2/\text{Si}$  heterostructures // Solid State Electronics.— 1999.— Vol. 43.— P. 1101—1106.

В. С. ТОМАЛЬ

Республика Беларусь, г. Минск, РУП “Оптическое станкостроение и вакуумная техника”  
E-mail: os\_vt@mail.belpak.by

Дата поступления в редакцию  
11.04 2007 г.

Оппонент д. т. н. В. А. ПИЛИПЕНКО  
(ГЦ “Белмикроанализ”, г. Минск)

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Исследованы процессы очистки от загрязнений оптико-механических систем с различными видами функциональных покрытий и разработан процесс ультразвуковой очистки, обеспечивающий высокую ее эффективность.*

Высокое качество оптико-механических систем во многом определяет качество того оборудования, в котором они используются, — медицинской аппаратуры, электронной техники, кинофотоаппаратуры и контрольно-измерительных приборов. В самих системах большое значение имеет чистота поверхности отдельных деталей и узлов. Даже минимальное наличие посторонних веществ на оптических поверхностях не позволяет получить требуемых оптических характери-

стик, что ведет к увеличению брака, отказам приборов и аппаратуры в процессе эксплуатации, увеличению вероятности получения недостоверных данных.

В настоящее время проблема очистки оптических деталей после их изготовления практически решена благодаря созданным высокоэффективным ультразвуковым процессам и высокопроизводительному оборудованию беспротирочной очистки [1, с. 126—146]. Однако эти процессы не охватывают очистку оптико-механических изделий, т. к. в данном случае кроме оптического стекла очистке подвергаются изготовленные из различных материалов оправы, а также лакокрасочные и физико-химические покрытия, присутствующие на оптических деталях. Сложность очистки линз в оправках вытекает из сочетания в оптико-механических системах материалов с сильно различающимися физико-химическими свойствами — линз из стекла с



Рис. 1. Оптические изделия с различными покрытиями

оптическими и лакокрасочными покрытиями и металлических оправ с защитными покрытиями.

Функциональные (оптические) покрытия оптических изделий (см. рис. 1) по назначению подразделяют на зеркальные, светоделительные, просветляющие, фильтрующие, защитные электропроводящие, поляризующие. Они могут быть как однослойными, так и многослойными (табл. 1), нанесенными в различной последовательности.

При изготовлении оптико-механических систем применяют лакокрасочные материалы со специальными свойствами — светопоглощающие и светоотражающие. Винил-хлоридные эмали ХС-543, ХС-1107, эпоксидные ЭП-51, кремнийорганические КО-843 наносят вручную на нерабочие поверхности оптических деталей (по торцу деталей). При этом крепление линз в оправы осуществляется в основном тремя методами — завальцовкой, резьбовым кольцом, прижимными планками. Для завальцовки используется латунь ЛС59-1, Л62, дюралюминий Д1, Д6, Д16, низкоуглеродистые конструкционные стали — 20 и 30. Резьбовые кольца выполняются из автоматных сталей А12, А20, закаленного дюралюминия Д15, Д6Т, Д16Т, литейных алюминиевых сплавов АЛ2, АЛ9, АЛ13, а прижимные планки — из сталей 65Т, У8А.

Изготовленные оправы для предохранения от коррозии подвергаются дополнительной обработке: сплавы алюминия и меди — нанесению анодно-окисных покрытий (Ан. Окс), сплавы алюминия — окисных химических (Хим. Окс), стали — окисных и фосфатных покрытий. Загрязнения на оправках обычно те же, что и на линзах, — отпечатки пальцев, пыль, отдельные жировые мазки.

Линзы в оправках в настоящее время чистятся так же, как и десятки лет назад, — вручную, ватным тампоном, смоченным спиртоэфирной смесью. Производительность труда низкая, качество нестабильное. Известные фирмы, занимающиеся производством промышленного оборудования, «Шоллершаль», «Бальцерс», «Вако-Коёки» и другие, рекламируют оборудование только для очистки индивидуальных оптических деталей. Поэтому очевидна необходимость разработки промышленных процессов и оборудования для очистки оптико-механических систем в целом, что и определило проведение настоящей работы.

Технологический процесс очистки линз в оправках должен обеспечить чистоту и сохранность оптической детали, оптического покрытия на детали, ла-

Таблица 1

Функциональные покрытия оптических изделий

Типы и виды покрытий	Условное обозначение
<b>Зеркальные</b>	
Алюминирование резистивным испарением с защитным анодным оксидированием	ИИ.21Е
Алюминирование резистивным испарением с защитным слоем двуокиси кремния, нанесенным электронно-лучевым испарением	ИИ.41ИЭ
<b>Светоделительные</b>	
Покрытие пятислойное резистивным испарением сернистого цинка и криолита	(29И.23И) <sub>5</sub> 29И
<b>Просветляющие</b>	
Покрытие однослойное электронно-лучевым испарением фтористого магния	24ИЭ
Покрытие трехслойное ахроматическое электронно-лучевым испарением окиси алюминия, двуокиси циркония и резистивным испарением фтористого магния и прогревом слоев окиси алюминия и двуокиси циркония	35ИЭ.(57ИЭх2)т.24ИЭ
Покрытие пятислойное ахроматическое электронно-лучевым испарением двуокиси циркония и резистивным испарением фтористого иттрия, фтористого магния	97И.24И.97И. (57ИЭх2). 24ИЭ
<b>Фильтрующие</b>	
Фильтр узкополосный II порядка сернистый цинк — фтористый магний	У <sub>2</sub> 17-29-24
<b>Электропроводящие</b>	
Покрытие однослойное резистивным испарением трехокси индия с примесью 10%-ной двуокиси олова с термообработкой на воздухе и просветлением электронно-лучевым испарением двуокиси кремния	69/58И.т.41ИЭ

кокрасочного покрытия, защитного покрытия оправки. Из большого числа растворителей (вода, ацетон, изопропиловый спирт, этиловый спирт, петролейный эфир, трихлорэтилен, перхлорэтилен, трихлортрифторэтан) наибольший интерес представляет вода как негорючий нетоксичный растворитель. (Вышеперечисленные спирты, кетон и эфир являются горючими веществами; хлорированные углеводороды токсичны, обладают канцерогенным и мутагенным воздействием, образуют смог и требуют утилизации отходов методом захоронения; хладон разрушает озоновый слой и усиливает парниковый эффект.)

Очистка линз в оправках в водных моющих растворах исследовалась индивидуально для каждого материала, входящего в оптико-механическую систему. Возможность очистки оправ, линз с оптическими покрытиями и линз с лакокрасочными покры-

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

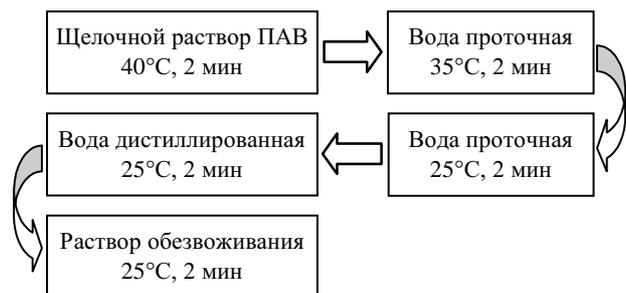


Рис. 2. Схема экспериментального процесса очистки

тиями проверялась по схеме процесса, показанной на рис. 2.

Очистка проводилась в ваннах объемом 25 литров. Процесс очистки интенсифицировался наложением ультразвуковых (УЗ) колебаний частотой  $44 \pm 4$  кГц на растворы в трех ваннах и возвратно-поступательным движением кассет с линзами и оправками в вертикальной плоскости. УЗ-ванна была оснащена 12 пьезокерамическими преобразователями, подключенными к 3 блокам УЗ-генератора. Моющий раствор имел  $\text{pH}=9,0$ .

Воздействие УЗ-полей на жидкие среды вызывает в них процессы кавитации, а также макро- и микропотоки в объеме жидкости, прилегающей к излучающей поверхности ванны. Захлопывание кавитационных газовых полостей сопровождается образованием ударных микроволн, давление которых может достигать  $(1 \dots 5) \cdot 10^8$  Па. Такие микроудары разрушают не только оксидные пленки и загрязнения на обрабатываемой поверхности изделий, но и в определенной степени изменяют морфологию поверхности. Возникающие микро- и макропотоки способствуют удалению загрязнений и ускорению процесса очистки микрорельефной поверхности [2]. Использование рабочих частот в диапазоне от 20 до 120 кГц обеспечивает неразрушающую очистку и удаление с микрорельефных поверхностей загрязнений размером до 1 мкм.

Таблица 2

Результаты очистки оправ из различных материалов в растворе ПАВ

Материал оправы	Антикоррозионная обработка	Результаты очистки	
		25°C	40°C
Латунь	Ан. Окс	Нет изменений; остались отпечатки пальцев	Нет изменений; остались отпечатки пальцев
	Без обработки	То же	То же
Дюралюминий	Ан. Окс	"	"
	Хим. Окс	"	"
	Без обработки	"	"
Сталь	Фосфатная	"	"

Очистка оправ проводилась при температуре 25 и 40°C без наложения УЗ-колебаний на моющий раствор и при работе одного, двух или трех блоков генератора (каждый мощностью 200 Вт) при температуре моющего раствора 40°C. Контроль очистки на отсутствие изменений на защитных покрытиях оправ осуществлялся визуально.

Результаты очистки оправ из различных материалов с антикоррозионными покрытиями приведены в

Таблица 3

Влияние интенсивности УЗ-обработки растворов на сохранность защитных покрытий оправ

Материал оправы	Антикоррозионная обработка	Включенные блоки УЗ-генератора		
		1 блок	2 блока	3 блока
Латунь	Без обработки Ан. Окс	Нет изменений То же	Нет изменений Нарушается	Нет изменений Нарушается
Дюралюминий	Хим. Окс Ан. Окс	"	"	"
Сталь	Фосфатная	"	"	"

табл. 2. Как видно из таблицы, на оправках остались следы неотмытых загрязнений.

Использование УЗ-колебаний в растворах (табл. 3) позволило получить чистые оправы, но при усилении УЗ-колебаний (включение двух и трех блоков генератора) наблюдались нарушения защитных покрытий оправ. Кроме того, оправы не обезжелезивались, на них оставались капли воды, при высыхании которых образовывались пятна.

С целью повышения устойчивости защитных покрытий оправ к воздействию моющего раствора в последний были введены ингибиторы коррозии металла. Как видно из табл. 4, введение ингибиторов позволило устранить коррозию оправ, но привело к образованию пленок на стекле и даже к коррозии стекла.

Таблица 4

Результаты воздействия ПАВ с ингибиторами коррозии на материал оправы и стекло

Ингибитор	Материал оправы			
	Латунь	Сталь	Дюралюминий	Стекло
Бикарбонат кальция	Коррозии нет	Коррозии нет	Коррозии нет	Пленка на стекле
Хромат	То же	То же	То же	Коррозия стекла
Двузамещенный фосфат натрия	"	"	"	То же
Метасиликат натрия	"	"	Разрушается	Пленка на стекле

Возможность очистки линз с лакокрасочными покрытиями по торцу деталей также исследовалась при наложении УЗ-колебаний и без ультразвука. Установлено, что в отсутствие ультразвука и при наложении УЗ-колебаний минимальной мощности (включен один блок генератора) состояние покрытия не изменяется. При воздействии УЗ-колебаний большей мощности (включены два и три блока генератора) происходит нарушение (частичное диспергирование) лакокрасочного покрытия.

Очистке подвергались также детали с оптически покрытиями. Качество покрытий контролировалось визуально до и после очистки в отраженном и проходящем свете на фоне черного экрана, а также оценивалось по коэффициенту светопропускания на спек-

Таблица 5  
Результаты очистки деталей с покрытиями

Марка покрытия	Качество покрытия	
	Внешний вид	Светопропускание
ИИ21Е	Покрытие почернело	Отсутствует
ИИ41ИЭ	Без изменений	Без изменений
(29И.23И) <sub>5</sub> 29И	Мутнеет	Уменьшилось
24ИЭ	Без изменений	Без изменений
35ИЭ.(57ИЭх2).т.24ИЭ	"	"
97И.24И.97И.(57ИЭх2)	"	"
У <sub>2</sub> 17-29-24	"	"
69/58И.т.41ИЭ	"	"

трофотометре СФ26. Результаты экспериментов приведены в табл. 5.

Исследования показали, что в водных щелочных растворах возможна промывка деталей с оптическими покрытиями, внешний слой которых устойчив к действию 0,1 н. растворов щелочи. В этом случае нестойкие внутренние слои покрытия не повреждаются. Для покрытий же с нестойким внешним слоем требуется разработка других моющих растворов.

Таким образом, очистка металлических оправ, линз с оптическими покрытиями, линз с лакокрасочными покрытиями в водном моющем растворе и воде показала:

— в щелочном моющем растворе при pH=9,0 с оправ и линз загрязнения (отпечатки пальцев, пыль, отдельные жировые мазки) удаляются при температуре раствора 40°C и наложении УЗ-колебаний частотой 44±4 кГц мощностью 200 Вт (при работе одного блока генератора) в течение 2 минут;

— технологический процесс очистки в водных растворах и в воде не может быть использован для линз в оправках, т. к. оправы не обезжелезиваются, на них остаются капли воды, после высыхания которых образуются пятна;

— щелочной моющий раствор с pH=9,0 при температуре 40°C может быть использован в технологическом процессе очистки только части номенклатуры линз в оправках;

— целесообразно исследовать возможность очистки линз в оправках с использованием растворителя, инертного по отношению к оправкам и линзам и позволяющего осушать их не оставляя следов.

Исследования были продолжены с использованием циклогексана. Учитывая, что органические растворители не удаляют отпечатков пальцев беспротирочно, для удаления загрязнений был использован моющий

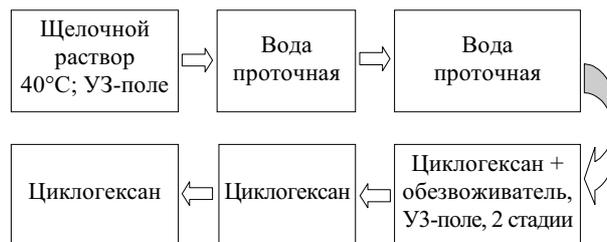


Рис. 3. Схема процесса очистки с циклогексаном (цикл — 2 мин)

щелочной раствор, прошедший испытания ранее. Схема процесса очистки с циклогексаном показана на рис. 3.

При очистке применяются две ванны с деионизированной проточной водой. Вода проходит сложную систему обработки: очистку от механических включений, умягчение, обессоливание на ионообменных смолах, удаление органических примесей, обеззараживание ультрафиолетовым излучением. Отработанная вода сливается в канализацию только после нескольких циклов ее использования и, соответственно, после очистки.

Детали, промытые по схеме рис. 3, были чистыми, порчи поверхности стекла, повреждения оправ и покрытий не наблюдалось. Схема использована для разработки технических требований к новой установке для очистки оптико-механических систем, т. к. существующее оборудование (КП-2, РТКП-1) не рассчитано на использование органических растворителей.

### Заключение

Установлено, что очистка в водных растворах и в воде не может быть использована для линз в оправках, т. к. оправы не обезжелезиваются, на них остаются капли воды, после высыхания которых образуются пятна. Щелочной моющий раствор может быть использован при очистке только части номенклатуры линз в оправках.

Экспериментально опробованный технологический процесс очистки линз в оправках с использованием органического растворителя — циклогексана показал его перспективность при условии создания установки для очистки оптико-механических систем с применением органических растворителей.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т. 2 / С. П. Кундас, В. Л. Ланин, М. Д. Тявловский и др.— Минск: Бестпринт, 2003.
2. Томаль В. С. Ультразвуковое оборудование для процессов удаления загрязнений с микрорельефных поверхностей электронно-оптических изделий // Доклады БГУИР.— 2007.— № 1.— С. 40—45.