

контраста в желто-зеленой части спектра. Применением многослойных интерференционных структур спектральную зависимость коэффициентов отражения или пропускания можно сместить в необходимый оптический диапазон. В работе представлены результаты изучения возможности получения многослойных структур с изменяющимися оптическими свойствами при инициировании ПМИ с оптическим контрастом в необходимом спектральном диапазоне.

Теория расчета подобных структур достаточно хорошо представлена в научной литературе. Однако подобные расчеты основаны на моделировании многослойной структуры однородными непоглощающими пленками. В нашем случае диоксид ванадия имеет большое поглощение в видимом диапазоне спектра, что затрудняет применение традиционных методов расчета. Если ограничиться относительно простой моделью, состоящей из двух пленок (одна из которых непоглощающая) на подложке с известными оптическими константами, то задача становится разрешимой для расчета простыми прямыми методами. Моделирование на ЭВМ показало, что подбором оптических констант диэлектрического слоя и его толщины, а также толщины диоксида ванадия можно получить максимальный оптический контраст в зеленой части спектра. Так для SiO_2 толщиной 100 нм максимальный оптический контраст при ПМИ на длине волны 550 нм достигался при толщине VO_2 приблизительно равной 250 нм. Кроме того, было получено, что оптический контраст увеличивается с ростом показателя преломления диэлектрического слоя.

Для получения многослойных структур применялось плазменное магнетронное напыление и анодное окисление полученных слоев.

Методы физико-химической обработки включали предварительную и конечную очистку поверхности от механических, органических и неорганических загрязнений: обезжиривание в кипящих органических растворителях, обработка в парах горячих растворителей (бензол) или УЗВ-обработка в органических растворителях, - промывка в горячей дистиллированной воде, сушка горячим воздухом. После очистки на подложки производилось осаждение пленок.

Для получения металлических прекурсоров и отражающих подслоев многослойных интерференционных структур применялся плазменный метод осаждения пленок. Процесс был реализован в вакуумном poste ВУП-5М (магнетронное распыление), средства откачки которого (последовательно включенные диффузионный и форвакуумный насосы) обеспечивали давление остаточных паров не выше 10^{-5} мм. рт. ст.

Для осаждения пленок VO_2 применялось магнетронное распыление металла в плазме аргона с добавлением в вакуумный объем кислорода. При этом подложка разогревалась до температуры 800-900 К.

Данный метод позволяет получать стехиометрические пленки VO_2 с хорошим скачком оптических и электрических свойств при ПМИ.

В качестве диэлектрического подслоя использовались оксиды SiO_2 и Ta_2O_5 . В первом случае использовались уже готовые подложки $\text{Si} - \text{SiO}_2$, а для получения диэлектрического слоя Ta_2O_5 первоначально на кремниевую подложку магнетронным способом на-

пылялся Та, после чего использовался метод анодного окисления. Анодное окисление (анодирование) проводилось в электрохимической ячейке, в которой окисляемый образец является анодом. При анодировании происходит перенос ионов кислорода из электролита в металл и образование на его поверхности анодной оксидной пленки (АОП). Анодирование в вольтстатическом (ВС) режиме, т.е. при постоянном напряжении на ячейке. В качестве электролитов использовались растворы на основе органических растворителей, а также расплавы кислородсодержащих ионных солей. После окисления в электролите образцы промывались в дистиллированной воде и высушивались в потоке горячего воздуха.

Для проверки модельных расчетов на структуру $\text{Si} - \text{SiO}_2$ и $\text{Si} - \text{Ta}_2\text{O}_5$ методом магнетронного напыления осаждался слой VO_2 . Толщина слоя диоксида ванадия оценивалась с помощью интерференционного микроскопа МИМ 6. Спектральная характеристика коэффициента отражения света от полученной структуры до и после перехода показывает, что для желто-зеленой части спектра достигается достаточно высокий оптический контраст.

Продемонстрированная возможность получения максимальных контрастов изменения цвета при ПМИ в различных частях спектра открывает дополнительные возможности для создания устройств отображения информации на основе двуокиси ванадия.

Получение высокого оптического контраста при ПМИ в VO_2 возможно в различном спектральном диапазоне при применении многослойных структур, получаемых последовательным напылением слоев с различными толщинами и оптическими константами.

Многослойные интерференционные структуры с диоксидом ванадия перспективны для разработки термохромных индикаторов.

ПРОЯВЛЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКОГО РЕЗИСТА НА ОСНОВЕ МЕТАСТАБИЛЬНОГО ОКСИДА ВАНАДИЯ

Стефанович Г.Б., Величко А.А.,
Путролайнен В.В., Стефанович Л.А., Черемисин А.В.
*Петрозаводский государственный университет,
Петрозаводск*

При переходе к литографии с разрешением меньшим, чем 100 нм сухое проявление резиста становится практически безальтернативным технологическим приемом. Сухое проявление основано на травлении резиста в плазменных, ионно-лучевых или плазмохимических процессах. В настоящий момент основные усилия сосредоточены в разработке плазмохимических процессов проявления, т.к. они обладают большей селективностью, скоростью и анизотропией травления. Основная концепция плазмохимического травления проста и прозрачна. Разряд генерирует химически активные частицы (атомы, радикалы или ионы), которые, вступая в химическую реакцию с обрабатываемым веществом, образуют легко летучие соединения, удаляемые вакуумной системой. Существуют не только научные, но и промышленные процессы и соответствующее оборудование для плаз-

мохимического травления стандартных для микроэлектроники материалов – кремния, диоксида кремния, нитрида кремния, алюминия, вольфрама. Эти процессы широко используются для травления металлических и диэлектрических слоев при создании полупроводниковых структур. Однако сухое травление практически не применяется для проявления резиста, что в первую очередь связано с низкой плазмо- и термостабильностью традиционных органических резистов. Это ограничивает возможность литографического процесса с органическими резистами и требует применения сложных многослойных композиций – один слой обеспечивает высокую чувствительность, другой высокую плазмотабильность. Альтернативный подход основан на применении неорганических резистов с высокой плазмо- и термостабильностью.

В настоящей работе представлены результаты исследования поведения анодных оксидов ванадия в плазменных и электрохимических процессах, демонстрирующие возможность эффективного проявления резиста на основе аморфных оксидов ванадия, нанесенного на кремниевые подложки. В ряде работ нами показано [1], что, будучи метастабильным аморфным материалом, в исходной фазе резист имеет низкую плазменную стабильность и высокую реактивность в плазмохимических и химических процессах. Отметим, что после процесса анодирования исходный резист имел двухслойное строение: металлический ванадий вблизи подложки и высокочувствительный аморфный оксид на внешней стороне системы. Далее было показано, что результатом электронно-лучевой или фотонной обработки исходно аморфного материала является стимулирование сложных окислительно-восстановительных реакций на внутренних и внешних границах оксида. Параллельно возможно протекание кристаллизационных процессов. После экспонирования материал обладает высокой плазмо- и термостабильностью, характерной для неорганических веществ. Это приводит к тому, что скорость плазменного или плазмохимического травления, также как и химического, неэкспонированного резиста существенно выше, чем экспонированного, что допускает различные технологии проявления резиста. Селективность травления обусловлена различием в химическом составе и структурном состоянии исходных и экспонированных резистов.

Для изучения возможности использования физического плазменного травления для проявления резиста изучалось поведение материала при обработке ионами аргона вызывающими селективное удаление неэкспонированного оксида. Травление осуществлялось в установке Balzers SCD 040 на постоянном токе при давлении Ar 3-10 Тор, напряжении 200-300 В и токе 150 мА. Для увеличения плотности плазмы в зоне травления использовалась система постоянных магнитов создающих магнитное поле с вектором индукции параллельным подложке.

После травления оксидной части резиста происходит травление металла. Этот процесс характеризуется низкой селективностью и, как правило, приводит к снижению общей высоты ступеньки резиста. Однако, в том случае когда удастся сохранить достаточно толстый слой экспонированного оксида травление не

защищенного оксидной маской металла идет с высокой скоростью и весь процесс достаточно селективен.

Количественные характеристики процесса физического травления резко зависели от условий осаждения металла, окисления и хранения образцов как до, так и после экспонирования. Ключевые параметры процесса физического травления можно суммировать следующим образом (для оксида полученного при 5 В анодного напряжения и 5 минутах окисления)

- скорость травления неэкспонированного оксида: 3 нм/с;
- скорость травления экспонированного оксида 8 нм/с;
- скорость травления высшего оксида 1 нм/с;
- скорость травления низшего оксида 2 нм/с;
- скорость травления металла 15 нм/с;

Можно заключить, что физическое травление оксидно-ванадиевого резиста характеризуется в общем случае низкой селективностью и не может служить основой эффективного процесса проявления. Однако, оно может давать удовлетворительные результаты в том случае если процесс проявления идет в 2 этапа, когда на первой стадии проявляется оксидная часть резиста каким либо альтернативным методом, а травление в плазме Ar используется для удаления металла незащищенного оксидом

Для увеличения селективности процесса проявления было изучено плазмохимическое травление многослойной композиции. Травление проводилось в планарном реакторе с незаземленным подложкодержателем с использованием ВЧ плазмы. ВЧ мощность варьировалась от 25 до 250 Вт. Использовались следующие газы и газовые композиции: CF_4 , SF_6 , SF_6/CHF_3 , CF_4/O_2 , CF_4/H_2 , Cl . Давление газов варьировалось от 100 до 1000 мТор.

При травлении в CF_4 , CF_4/O_2 , CF_4/H_2 наблюдалось селективное травление оксидной части резиста, тогда как металлическая часть практически не травилась. Плазма SF_6 , SF_6/CHF_3 травил оксид приблизительно с той же скоростью и селективностью. Однако, после травления оксидной части резиста происходило эффективное травление ванадия. Отметим, что эта плазма широко применяется для травления кремния, причем скорость травления кремния выше, чем скорость травления ванадия. В этом случае, после завершения травления резиста, происходило быстрое и глубокое травление незащищенного кремния. Этот процесс требовал очень высокой однородности многослойного оксидно-ванадиевого резиста. В противном случае любая неоднородность травления приводит к созданию рельефа на поверхности Si.

Травление в плазме Cl показало, что в этом случае металл травится с высокой скоростью, тогда как оксид практически не удаляется при такой обработке. Используя это обстоятельство был разработан процесс когда начало травления производилось в CF_4 плазме, в которую через некоторое время добавлялся Cl , а еще через некоторое время подача CF_4 прекращалась.

Также как и в случае физического травления, результат сильно зависел от условий осаждения металла, окисления и хранения образцов как до, так и после экспонирования.

Принципиально важным является то, что скорости травления всех частей оксидно-ванадиевого резиста были существенно ниже, чем для Si или SiO₂, что позволяет проводить эффективное сухое травление полупроводниковых подложек через резистивную маску.

Химическое травление не используется для изготовления микроструктур субмикронного масштаба по причине низкой анизотропии процесса. Для увеличения анизотропии процесса мы изучили различные варианты электрохимического анодного травления. Выяснилось, что важными параметрами при электрохимическом травлении являются состав электролита, плотность тока, температура электролита и скорость его перемешивания. Достаточно оптимальным химическим травителем оказалась композиция на основе 40 %-ого раствора H₂SO₄ в этаноле. Его использование позволило осуществить травление исходного оксида и ванадиевой пленки вплоть до кремния, при этом экспонированная оксидная часть рисунка осталась нетронутой.

Дальнейшее совершенствование процесса травления заключалась в переводе электрохимической процедуры в наносекундный диапазон времени. Применение регулируемого по амплитуде, длительности и скважности генератора наносекундных импульсов позволило реализовать эффективный процесс проявления многослойного резиста на основе оксида ванадия. Данный метод травления обладал высокой селективностью, при котором проявляются рисунки с очень малыми дозами экспонирования (при дозах 20 мкКл/см² были проявлены линии резиста с разрешением меньше 100 нм).

МИНЕРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ПОЗВОНОЧНИКА В ВОЗРАСТНОМ АСПЕКТЕ

Турилина Е.В.

Государственное учреждение Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г.А.Илизарова, Курган

Измерения минеральной плотности (МП) поясничного отдела позвоночника провели на костном денситометре фирмы «GE /Lunar» (США) У 6000 здоровых людях в возрасте от 21 до 80 лет.

Женщины. В процессе обследования установлено, что суммарное количество минералов во втором позвонке больше первого на 16%, в третьем больше, чем во втором на 14% и в четвертом по сравнению с третьим - на 9%. Первые признаки увеличения ширины первого позвонка наблюдаются в 31-35 лет, второго, третьего и четвертого - 41-45 лет. Наибольшее увеличение ширины происходит после 60 лет. Высота в первом позвонке начинает уменьшаться в 41-45 лет, во втором - 61-65 лет, третьего в 66-70, четвертого - 41-45 лет.

Фирма GE/Lunar, производитель денситометров, считает необходимым проводить соответствующие расчеты в нижеследующих сочетаниях позвонков: L₁-L₂, L₁-L₃, L₁-L₄, L₂-L₃, L₂-L₄, L₃-L₄.

L₂-L₄. В таком сочетании позвоночник исследуется чаще всего. Поэтому приводим достаточно полное описание полученных результатов. Наибольшее количество минералов было в возрасте 21-25 лет. В последующие годы - до 45 лет изменений не отмечено. Первые сдвиги появлялись в возрастной группе 46-50 лет. В 51-55 лет суммарное количество минералов в L₂-L₄ составило 46,343±7,355 г, Т-критерий составил -1,5SD (85% от пиковой массы), а МП оказалась равной 1,101±0,157 г/см². Эти данные свидетельствуют о наличии остеопении. С 56 лет и до 60 отмечали дальнейшее снижение количества минералов до 44,344±7,108 г, Т-критерий -2,0SD (80% от пиковой массы), МП до 1,058±0,144 г/см². В 61-70 лет происходит дальнейшее существенное снижения МП. В 71-75 лет Т-критерий равен -2,5SD. В 76-80 -2,6SD при плотности - 0,995±0,151 г/см². Эти величины указывают на развитие остеопороза, то есть деминерализация происходит и в кортикальной кости.

Мужчины.

L₁. Снижение суммарного количества минералов (на 2%) выявлено впервые в 61-65 лет. В дальнейшем медленно снижалось. Плотность минералов в целом по позвонку в 80 лет снижена на 15%.

L₂. Суммарная величина минералов достоверно уменьшалась в 61-65 лет. В 66-70 была уменьшена на 11%, в 76-80 лет - на 16%..

L₃. Достоверное увеличение ширины на 5,9% обнаружено в 56-60 лет. В 76-80 лет позвонки шире на 9,8% (за счет разрастания надкостницы). Высота в 71-75 лет была уменьшена на 6%, а в 76-80 лет - на 8%. Площадь в 66-70 лет увеличена на 1%, в 71-75 - на 2%, в 76-80 лет - на 5%. Суммарное количество минералов начинало снижаться в 61-65 лет на 10%. В 71-75 лет процент снижения составлял 14%, в 76-80 лет - 19%.

L₄. У мужчин количество минеральных веществ в позвоночнике не изменялось до 55 лет. В 56-60 лет уменьшалось до 56,300±5,382 г (пиковая масса в возрасте 21-25 лет - 61,868±5,538 г). Т-критерий -0,7SD, то есть количество минералов в позвонках снижено на 7%. В 66-70 лет Т-критерий был равен -1,3, в 71-75 - -1,6 и в 76-80 лет - 2,0 SD.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 04-07-96030.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДОВ ТЕОРИИ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМУЩЕННЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В АТМОСФЕРЕ

Удалой В.А., Соколов Н.Л.

*Центр управления полетами и моделирования,
Центрального научно-исследовательского
института машиностроения,
Королев*

При движении КА в атмосфере точный учет внешних возмущающих сил затруднителен, так как они либо неизвестны, либо имеют сложный характер. К таким внешним воздействиям можно отнести вариации плотности атмосферы, ветер, турбулентное