

действием излучения разогрелся и начал расплавляться, заполняя канавку, однако после охлаждения и механического воздействия необходимой связи не образовалось. Сцепление произошло за счет флюса, кристаллы которого удерживали припой в канавке.

Эксперимент 2. Параметры эксперимента: припой – пастообразный «самофлюсующийся» припой из алюминиевой пудры ПАП-2, смешанной с «литиевым» флюсом, приготовленным экспериментально; основной металл: пластина Д16 толщиной 8 мм; пластина АК5 толщиной 5 мм. Подготовка поверхности – зачистка поверхности пластин наждачной бумагой, протирка спиртом, травление соляной кислотой (*HCl*). Режимы: скорость перемещения лазерного пучка $V=100 - 200$ мм/мин; диаметр лазерного пятна $d=4$ мм. На подготовленных пластинах были протравлены «дорожки» соляной кислотой, для нанесения на них экспериментального самофлюсующегося припоя с разным содержанием алюминиевой пудры (5 – 50%). Пайку вели на скоростях перемещения лазерного пучка 100 и 200 мм/мин. На участках пластины, где были нанесены припои с процентным содержанием 10-15 % *Al*, были отмечены положительные результаты.

Полученные образцы были отправлены в лабораторию для изучения структуры полученных соединений. После проведения металлографического исследования можно будет сделать выводы о возможности путей получения качественного паяного соединения с помощью вышеописанных технологий и необходимости совершенствования и доработки процессов в том или ином направлении.

УДК 666.3:661.55

Влияние технологических факторов на микроструктуру и фазовый состав керамики на основе реакционносвязанного нитрида кремния

Студент гр. 104611 Чукашев П.С.

Научный руководитель – Жук А.Е.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Повышение температуры предварительной обработки кремниевых прессовок, как и температуры азотирования, активизирует процессы массопереноса и приводит к сокращению индукционного периода и ускорению реакции. Более высокие скорости азотирования при повышенных температурах обуславливают большую степень превращения, причем зависимость эта очень чувствительная. Она может проявляться даже при небольшом градиенте температур в горячей зоне печи. Если в процессе реакционного спекания температура превысит точку появления жидкой фазы, то произойдет качественное изменение реакции. Взаимодействие в жидкой фазе идет очень интенсивно, но при этом формируется более грубая микроструктура нитрида.

Жидкая фаза способствует ускоренному росту зерен β - Si_3N_4 . Поэтому высокие температуры азотирования вызывают уменьшение отношения α/β . Реакция азотирования кремния сильно экзотермична. Если не контролировать тепловой режим реакции, то возможен сильный перегрев кремниевой заготовки. Опасность перегрева является наибольшей для массивных изделий. С целью контроля теплового режима применяются специальные командные системы, обеспечивающие управление экзотермической реакцией. Азотирование в таких системах начинается при 1050-1150°C. Температура повышается ступенчато до 1380%. На практике обычно используются режимы, при которых максимальная температура не превышает 1400 %. Добавки водорода в азот увеличивают скорость реакции азотирования, в особенности в начальный период, а также способствуют получению материалов с улучшенными свойствами.

Для объяснения возможных функций водорода внутри азотируемой прессовки предложена двухзонная модель азотирования. Согласно модели, вокруг азотируемой прессовки об-

разуются две зоны, каждая со своим газовым составом. Внешняя зона является преимущественно зоной окисления, внутри нее большая часть кислорода или водяного пара, присутствующих в потоке азотирующего газа, вступает в реакцию с кремнием с образованием SiO_2 . Внутренняя зона является главной областью азотирования. Предельное значение парциального давления SiO составляет 101,33 Па. Парциальные давления азота и водорода в этой зоне равны соответствующим давлениям в подаваемой газовой смеси. Таким образом, внешняя зона является буферной, она поддерживает постоянные уровни SiO , H_2 , O_2 и H_2O во внутренней зоне.

В присутствии водорода удаление пленки SiO с поверхности частиц кремния происходит быстрее, вследствие чего сокращается индукционный период реакции азотирования.

Однако, водяной пар, так же как и водород, способствует поддержанию высокого парциального давления монооксида кремния на ранних этапах азотирования. Но, следует отметить, что при больших концентрациях H_2O , следовательно, H_2 может происходить излишняя потеря кремния в виде SiO_2 (г). Слишком большие добавки водорода в азот разбавляют его, и это также приводит к замедлению азотирования.

В связи с экзотермичностью реакции азотирования от кремниевой прессовки необходимо интенсивно отводить тепло, чтобы не произошел перегрев. Водород имеет высокую теплопроводность, и поэтому его добавки в азотирующую среду способствуют поддержанию в прессовке требуемой температуры. Строгое выдерживание температуры позволяет избежать плавления, ликвации, появления крупных пор и зерен $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. За счет контроля температурного режима, осуществляемого с помощью добавки в азот 4 об.% H_2 , удалось повысить прочность образцов РСНК от 207 до 276 МПа. Благоприятное влияние водорода проявляется также в том, что с увеличением его количества повышается содержание α -фазы нитрида кремния. При этом формируется мелкозернистая и мелкопористая структура. Возможное объяснение этого эффекта заключено в различии механизмов образования α - и β -фаз нитрида кремния, $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, образуется по механизму осаждения из газовой фазы.

В качестве добавок к азотирующему газу используется также гелий. Гелий является инертным и высокотеплопроводным газом, поэтому его роль ограничивается улучшением условий отвода тепла от места реакции. Влияние добавок гелия по сравнению с водородом менее существенно. Так, азотирование кремния в атмосфере состава 7 об.%He + 93 об.% N_2 позволило получить РСНК с прочностью только 255 МПа.

Уменьшение парциального давления азота сказывается в виде замедления скорости азотирования. Это приводит к тому, что увеличивается время, необходимое для полного прохождения реакции. При высоком давлении образуется большое количество островков фазы нитрида кремния. Все островки получаются мелкими, условия для преимущественного роста какого-либо из них отсутствуют. В результате формируется мелкозернистая структура, которая с точки зрения механических свойств материала является предпочтительной. Повышенное давление азота позволяет также подавлять диссоциацию Si_3N_4 , и проводить азотирование при более высоких температурах.

На процесс азотирования кремния существенное влияние оказывает скорость потока газов. Различают азотирование в статических и динамических условиях. Статические условия характерны тем, что скорость движения газов равна или близка к нулю. Азотирование ведется в замкнутом объеме. Движение газов ограничено диффузионными процессами, а также связыванием газов и их выделением в результате протекающих реакций. В динамических условиях азотирования осуществляются непрерывная подача и отвод газов.

Как показывают исследования, динамическим условиям всегда соответствуют худшие свойства РСНК. Азотирование в потоке газа приводит к большому критическому дефекту материала и меньшей прочности. Уменьшается скорость реакции, падает модуль Юнга, сплошная сеть нитрида кремния устанавливается более длительное время. Следует отметить, что газовый поток может быть получен случайно, вследствие необнаруженных утечек, кото-

рые даже при незначительных размерах могут сильно ухудшать свойства реакционно-связанных материалов.

Введение водорода в количестве 1-10 об.% позволяет полностью нейтрализовать вредное влияние условий потока. Прочность, одинаковая и в статических и в динамических условиях, достигается уже при использовании атмосферы состава 99 об.%N₂ + 1 об.%H₂. Добавление водорода сверх 1 об.% оказывается менее эффективным и к дальнейшему улучшению свойств материала практически не приводит. Динамическим условиям соответствуют меньшие скорости реакции, чем статическим условиям. Сравнение скоростей реакции, протекающей в двух разных атмосферах, для динамических и статических условий показывает несомненное преимущество небольших добавок водорода. В динамических условиях при наличии водорода не наблюдается падение модуля Юнга, размеры критического дефекта при любой заданной плотности подобны размерам, наблюдаемым в статическом азоте, и значительно меньше, чем в потоке чистого азота. Подобно водороду действует и водяной пар. Введение его в азотирующий газ подавляет вредное влияние динамических условий азотирования на прочность и модуль упругости РСНК.

УДК 621.793

Металлические мембраны для микрофльтрации: классификация, свойства, применение

Студенты: гр. 10406112 Жук В.А., гр. 10405114 Жук К.А.
Научный руководитель – Жук А.Е.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Микрофльтрация – это процесс отделения из фильтруемой среды крупных коллоидных частиц или взвешенных микрочастиц размером 0,02–25 мкм. Мембраны для микрофльтрации обычно имеют изотропную структуру. Они обладают высокой производительностью, особенно в начальный период эксплуатации. Микрофльтрацию, как правило, осуществляют при небольших перепадах давлениях (до 0,2 МПа) на мембране во избежание значительных деформаций, которым подвержены мембраны при приложении на них нагрузки извне.

Мембраны для микрофльтрации чаще всего выпускают в виде дисков различных диаметров, а также пластин различных размеров и могут использоваться в дисковых держателях и фильтр-прессах.

Для увеличения площади фльтрации в последнее время на основе микрофльтрационных мембран изготавливают патронные фильтры. Эти фильтры обладают непрерывной однородной структурой, не способной к выделению (отщеплению) каких-либо компонентов в фильтруемую среду. Структура фильтра должна быть достаточно устойчива к воздействию давления чтобы исключить возможность продавливания собранных частиц или бактерий через фильтр при резких пульсациях давления. Области применения фильтрующих перегородок весьма разнообразны.

Типичные примеры их использования в зависимости от размеров пор приведены ниже: *при диаметре пор 5 мкм и более* – предварительная фльтрация взвесей в воде, высокоэффективная очистка газов от взвешенных частиц, очистка высоковязких жидкостей и фотохимикатов, гравиметрический анализ гидравлических масел, анализ пыли, цитофизиологические исследования; *при диаметре пор 3 мкм* – микрофльтрация масел и других вязких жидкостей, фльтрация тонких взвесей, цитофизиологические исследования; *при диаметре пор 0,65 мкм* – тонкая фльтрация химических, фармацевтических препаратов, микробиологическое исследование молочных продуктов; *при диаметре пор 0,2 мкм* – получение оптически чистых продуктов, концентрирование некоторых бактериофагов, стерилизация жидкостей и