

Студент гр. 104611 Кривуленко Н.В.

Научный руководитель – Жук А.Е.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Важную роль в процессе формирования структуры материала, спекаемого в условиях высоких давлений и температур, играет стадия сжатия порошка в аппарате высокого давления, предшествующая нагреву. Она во многом определяет последующий процесс спекания. В процессе консолидации обычных порошков при высоких давлениях происходит интенсивное разрушение их частиц и зерен. Увеличение плотности прессовок связано с проскальзыванием частиц и размещением более мелких продуктов дробления в межчастичных порах. Эти процессы особенно характерны для хрупких керамических порошков. Консолидация металлических порошков происходит в значительной степени за счет пластической деформации частиц. Консолидация обычных микропорошков при высоких давлениях сопровождается хрупкой и пластической деформацией частиц, в результате которой система становится еще более дисперсной. Основные особенности консолидации УДП (ультрадисперсные порошки) определяются свойствами их частиц и обусловлены главным образом высоким значением поверхностной энергии, связанной с большой удельной поверхностью частиц порошка.

Особенностью консолидации нанодисперсных порошков при высоких давлениях является то, что поверхности частиц трансформируются в границы зерен консолидируемого материала. Под действием давления изменяется состояние атомов на границах. Они находятся в нестабильном состоянии. Границы отличаются низкой атомной плотностью и высокой атомной энергией. Поскольку в нанокристаллическом материале границы занимают большой объем, состояние граничных атомов оказывает существенное влияние на структуру и свойства нанокристаллического материала. При этом для нанодисперсных порошков хрупких материалов, так же как и для обычных при обработке высоким давлением наблюдается измельчение структуры. Плотность образцов, компактированных из нанопорошков при высоких давлениях, зависит также от скорости нагружения и времени выдержки под давлением. При фиксации давления плотность продолжает расти при постоянном давлении. Это говорит о том, что поведение порошковых тел при прессовании определяется преимущественно дисперсностью и морфологией частиц, а роль природы химической связи в значительной степени нивелирована.

На первой с увеличением давления до 1,5 – 2,5 ГПа наблюдается резкое падение их электрического сопротивления, а на второй при более высоких давлениях - его монотонное уменьшение. При этом характер изменения электрического сопротивления микро- и нанопорошков в зависимости от давления различен, и для микропорошков его величина на порядок ниже. Существенное уменьшение электрического сопротивления микропорошков в диапазоне давлений 0-2 ГПа связано со стадией их активного уплотнения за счет дробления и перегруппировки частиц, а дальнейшее монотонное уменьшение вплоть до давления 4 ГПа - с их деформацией и ростом площади контактов между частицами. Для нанопорошков указанные закономерности менее выражены вследствие их большей удельной поверхности и величины поверхностного трения в процессе сжатия в камере высокого давления. Поэтому различие между первой и второй стадиями уплотнения не такое резкое, как для микропорошков. Это свидетельствует о различных механизмах их уплотнения. В отличие от микропорошков уплотнение нанопорошков может происходить только за счет взаимного проскальзывания частиц.

Структура и свойства наноматериалов, спеченных при высоком давлении, определяются как термодинамическими условиями их спекания (давление, температура), так и кинетическими параметрами (временем их воздействия, а также характером их изменения в процессе спекания). При этом термодинамические параметры спекания обеспечиваются характеристиками аппарата высокого давления, а кинетические параметры спекания в значительной степени определяются возможностями системы управления РТ – условиями в зоне спекания. С учетом высокой скорости протекания процессов консолидации нанопорошков при высоких давлениях особое значение имеет точность задания и регулировки температуры и давления в процессе спекания.

УДК 621.793

### **Получение, свойства и области применения тонкопленочных покрытий карбида кремния**

Студент гр. 10406112 Жук В.А.

Научный руководитель – Ковалевский В.Н.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Карбид кремния – единственное полупроводниковое бинарное соединение  $A^{IV}B^{IV}$ . Тип связи – ковалентный, доля ионной составляющей порядка 10%. Ширина запрещенной зоны для кристаллов SiC составляет 2,39 эВ, для различных модификаций SiC ширина запрещенной зоны может иметь значение в пределах от 2,72 до 3,34 эВ. Большие значения ширины запрещенной зоны позволяют создавать на его основе полупроводниковые приборы, сохраняющие работоспособность при температурах до 600°C. Собственная электропроводность из-за большой ширины запрещенной зоны наблюдается лишь при температурах выше 1400°C. Карбид кремния тугоплавок ( $t_{пл}$  2830°C), химически стоек, по твердости уступает лишь алмазу и нитриду бора: твердость по MOOCy – 9,1 – 9,5; микротвердость 3300 – 3600 кгс/мм<sup>2</sup>. Карбид кремния обладает высокой термической, химической и радиационной стойкостью, выделяется своей устойчивостью к окислению среди многих окалиностойких сплавов и химических соединений. Заметно окисляется только при температурах выше 800 °C. Он не реагирует с минеральными кислотами любых концентраций, включая и плавиковую кислоту. При комнатной температуре химически взаимодействует с ортофосфорной и кислотой и смесью азотной и фтористоводородной кислот при температуре 200 °C. Вплоть до 1100 °C с карбидом кремния совершенно не взаимодействует азот. Инертен он также в среде водорода и углекислого газа. В среде хлора теряет устойчивость при сравнительно низких температурах. Карбид кремния активно разлагается с образованием соответствующих силикатов при сплавлении с едкими и углекислыми щелочами и перекисями.

Карбид кремния, благодаря ряду уникальных свойств: большой ширине запрещенной зоны, чрезвычайно высокому критическому полю лавинного пробоя, теплопроводности, превосходящей при комнатной температуре теплопроводность меди, химической и радиационной стойкости является перспективным материалом для применения в различных областях современной электроники. Структуры на его основе обладают стабильными временными характеристиками, широким диапазоном рабочих температур (вплоть до 900 °C) и могут быть использованы при создании новых приборов микро-, СВЧ-, мощной и сильноточной электроники, полупроводниковых детекторов ядерных частиц и фотоэлектропреобразователей УФ излучения. Кроме того, важным направлением развития технологии микроэлектроники в настоящее время является совмещение широкозонных материалов (GaN, AlN) с кремниевой электроникой. Слои карбида кремния на кремниевых подложках используются для последующего роста нитрида галлия и нитрида алюминия.

Монокристаллический SiC используют для изготовления радиационностойких светодиодов, обладающих очень высокой надежностью и стабильностью работы. Его можно ис-