

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Гуков М. И., Шаненков И. И., Циммерман А. И.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

Введение

Нитрид алюминия с гексагональной структурой широко используется в различных отраслях энергетики, благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая теплопроводность и механическая прочность, ярко выраженные диэлектрические свойства и низкий коэффициент теплового расширения [1-2]. Например, его применяют при изготовлении полевых транзисторов со структурой металл-диэлектрик-полупроводник.

Синтез частиц нитрида алюминия с как можно меньшими размерами является актуальной задачей, так как высокая дисперсность позволяет значительно упростить процесс спекания порошка, что делает его менее энергозатратным. К недостаткам наиболее распространенных способов получения AlN можно отнести большие временные и энергетические затраты, что обуславливает интерес к поиску альтернативных способов синтеза.

Данная работа посвящена вопросам синтеза ультрадисперсного порошка нитрида алюминия плазмодинамическим способом, который, помимо низких затрат ресурсов и времени (процесс занимает до 500 мкс), позволяет варьировать энергетические параметры и получать ультрадисперсные частицы в системе, основанной на коаксиальном магнитоплазменном ускорителе (КМПУ). Данный способ был разработан в лаборатории высокотемпературной сверхпроводимости ЭНИН ТПУ [3].

Экспериментальная часть

Система, используемая для синтеза ультрадисперсного порошка AlN, включает в себя емкостной накопитель энергии, КМПУ, камера-реактор, газовая среда [4]. Энергетические параметры, которыми обладает емкостной накопитель, следующие: $U_{зар}$ до 5 кВ, а $C_{зар}$ до 28,8 мФ. Состав КМПУ: Z-пинч ускоритель с алюминиевыми электродами и внешняя индуктивная система.

Принцип работы системы заключается в следующем. После замыкания силовых ключей в цепи разряда накопителя происходит рост напряжения на электродах, пробой межэлектродного промежутка и образование дугового (плазменного) разряда. Под влиянием собственного и внешнего магнитных полей плазменный разряд ускоряется силами кондукционной и индукционной электродинамики. Необходимый материал нарабатывается с поверхности ускорительного канала вовлекается в движение плазмы и выносится в пространство камеры-реактора. Синтез материала осуществляется при взаимодействии плазменного потока с газовой средой, в результате чего происходит распыление диспергированного материала со свободной поверхности фронта головной ударной волны. После выстрела диспергированный продукт остается во взвешенном состоянии и постепенно оседает на стенки камеры-реактора. После полного осаждения происходит вскрытие камеры и сборка порошка.

Исходные параметры для проведения плазмодинамического синтеза ультрадисперсного порошка AlN были следующими: центральный электрод с наконечником из алюминия, в который был засыпан порошок меламин (твердый прекурсор) и алюминиевый ускорительный канал формировали собой систему электродов; в предварительно вакуумированную камеру-реактор был закачен газообразный азот под давлением 1 атм.; $U_{зар} = 1,8$ кВ, а $C_{зар} = 14,4$ мФ. Продукт, получившийся данным способом без предварительной подготовки анализировался

методами рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD-7000) и просвечивающей электронной микроскопии (Philips CM12).

Результаты и обсуждения

На рисунке 1 представлена рабочие осциллограмма напряжения, разрядного тока, мощности разряда и выделившейся энергии, которые были записаны при проведении эксперимента. Из рисунка можно заметить, что процесс плазодинамического синтеза длится не более 600 мкс. Особенностью процесса синтеза с использованием твердого прекурсора является следующее: производная скорости роста тока, как видно из рисунка, изменяет свои значения из-за того, что при разложении меламина, который используется, как азотсодержащий прекурсор, выделяется водород, увеличивающий теплоотвод. Это в свою очередь влияет на увеличение напряжения и уменьшение уровня максимального тока. Снижение уровня протекающего тока значительно влияет, как на количество энергии, выделяющейся в процессе синтеза, так и на средней размер формирующихся частиц.

Гистограмма распределения частиц по размерам, которая представлена на рисунке 2, была построена в результате анализа данных светлопольных снимков, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии. Из рисунка видно, что наибольшее количество частиц (около 88 %) в порошке имеют размер 20-120 нм. Это позволяет судить о достаточно высокой дисперсности синтезированного порошка. Тем не менее, еще большего уменьшения среднего размера частиц можно добиться при проведении экспериментов без использования водородсодержащего прекурсора. Это повысит уровень максимального тока и, соответственно, увеличит скорость закалки распыляемых частиц с поверхности фронта головной ударной волны.

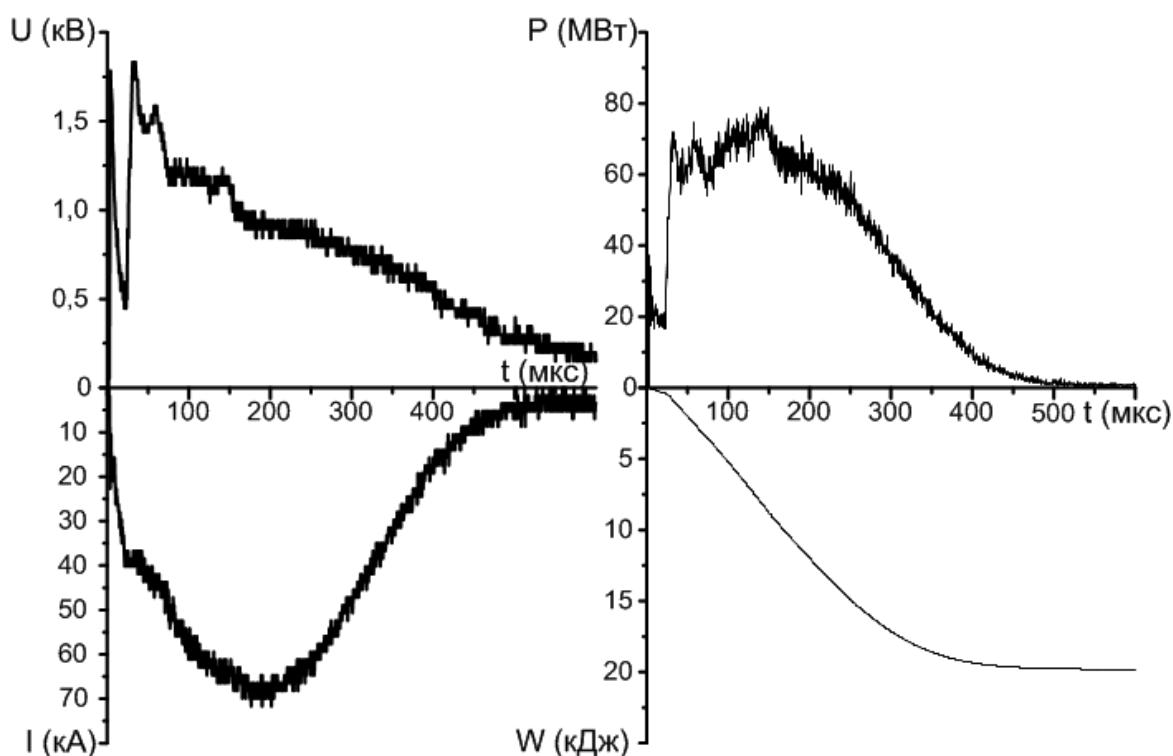


Рис. 1. Осциллограммы тока $i(t)$, напряжения $u(t)$, мощности $p(t)$, энергии $w(t)$

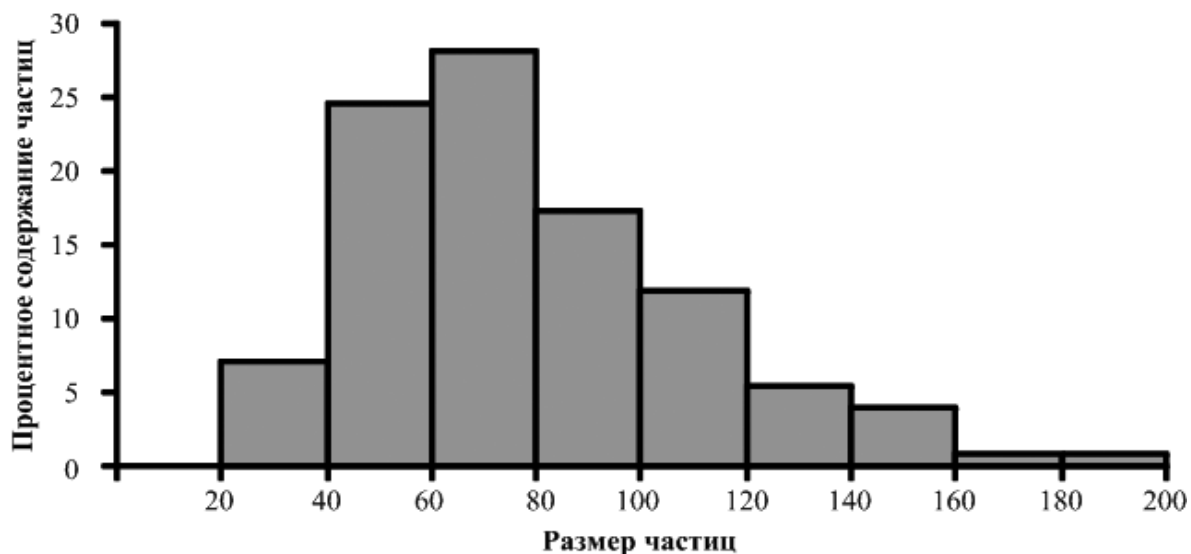


Рис. 2. Гистограммы распределения частиц по размерам в исследуемом порошке

На рисунке 3 представлены рентгеновские дифрактограммы синтезированного порошка. Расшифровка дифрактограмм проводилась при помощи программного обеспечения PowderCell 2.4 с использованием баз данных PDF 2+, PDF 4. Из рисунка видно, что порошок состоит из трех основных фаз (AlN, Al, Al₄C₃).

Также можно заметить, что фаза нитрида алюминия является доминирующей, а примесные фазы имеют содержание около 24,9 %. Формирование карбида алюминия можно объяснить наличием меламина (C₃N₆H₆), который являлся твердым азотсодержащим прекурсором. При его разложении в плазме разряда образуются свободные ионы углерода, которые взаимодействуя с алюминием, кристаллизуются и формируют фазу Al₄C₃. Таким образом, метод плазмодинамического синтеза позволяет осуществлять получение ультрадисперсного нитрида алюминия с достаточно высоким содержанием необходимой фазы (вплоть до 75 %) в едином кратковременном цикле работы ускорителя.

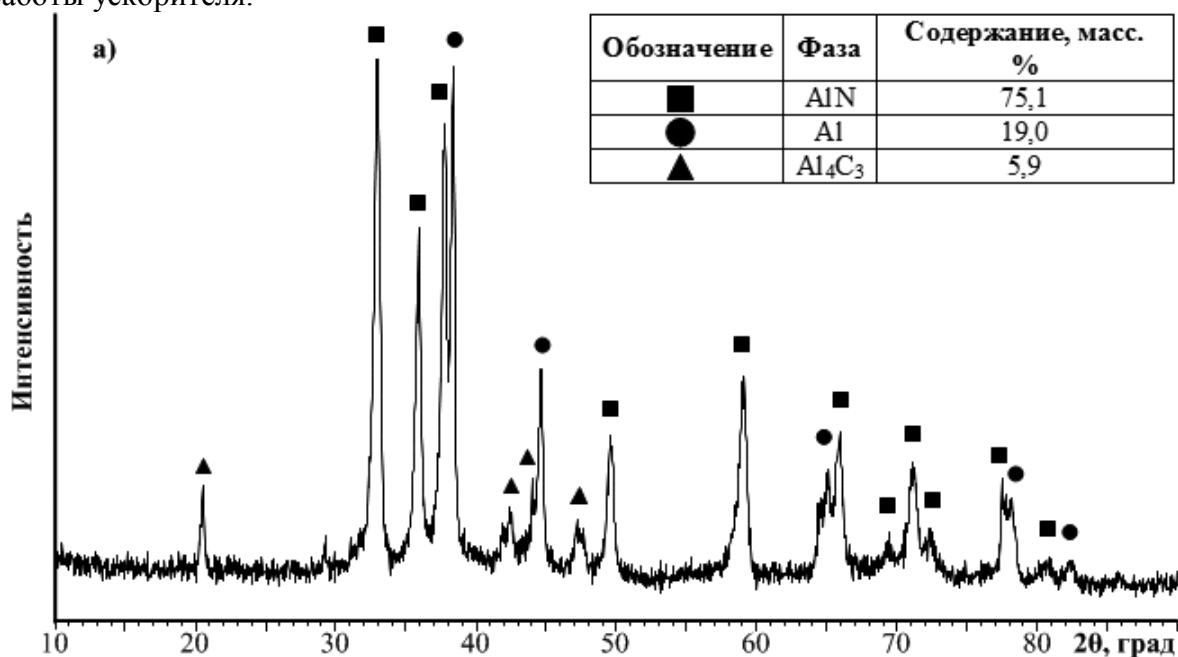


Рис. 3. Рентгеновские дифрактограммы исследуемого порошка

Заключение

Согласно результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что метод плазмодинамического синтеза отлично подходит для синтеза ультрадисперсного порошка нитрида алюминия. К преимуществам данного метода можно отнести высокую скорость протекания реакции (порядка 600 мкс), достаточно низкое процентное содержание примесных фаз (около 24,9 %), таких как Al и Al₄C₃ и малые размеры частиц (большинство лежит в диапазоне 20-120 нм). В качестве дальнейших этапов исследования процесса синтеза в предложенной системе будут выступать следующие: очистка продукта от примесных фаз, проведение исследований без использования дополнительных прекурсоров, получение керамики на основе синтезированного порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. L.M. Sheppard, Aluminum nitride: a versatile but challenging material, Am. Ceram. Bull. 69 (11) (1990) 1801–1803.
2. Pee J.H., Park J.C., Hwang K.T., Kim S., Cho W.S. Properties of AlN powder synthesized by self-propagating high temperature synthesis process // Key engineering materials. – 2010. – № 434–435. – P. 834–837.
3. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Оpubл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.
4. Sivkov A., Pak A., Shanenkov I., Kolganova Y., Prosvirin I. Effect of energy on plasmodynamic synthesis product in the carbon-nitrogen system // Advanced Materials Research. – 2014. – Т. 880. – С. 36-41.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Серебряков Н. А.

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г.Барнаул

Цель: определение технико - экономической целесообразности применения частотного управления асинхронным двигателем.

Задачи:

- выполнить краткий аналитический обзор частотного управления асинхронным - двигателем;
- произвести анализ зарубежного и отечественного опыта применения частотных преобразователей в системах управления асинхронным двигателем;
- выработать методику технико-экономического обоснования применения системы частотного управления асинхронным электроприводом.

Асинхронный двигатель (АД) является самым распространенным видом привода в промышленности и народном хозяйстве. АД прост в изготовлении и эксплуатации, обладает высокой надёжностью в работе, имеет меньшие, по сравнению с двигателем постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности.

Основной недостаток АД – сложность регулирования скорости вращения традиционными методами. Однако, управлять АД можно с помощью изменения частоты входного напряжения.