

**МОРФОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ В
МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ВОЗДУХЕ**

А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, И.К. Забродина

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.П. Ильин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: pasembellum@mail.ru

**MORPHOLOGY OF ALUMINUM NANOPOWDER COMBUSTION PRODUCTS IN A
MAGNETIC FIELD IN AIR**

A.V. Mostovshchikov, A.P. Ilyin, I.K. Zabrodina

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.P. Ilyin

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: pasembellum@mail.ru

The morphology of aluminum nanopowder combustion products in air and the influence of a constant magnetic field on their structure is under study in this paper. It has been revealed that the combustion products of free-poured aluminum nanopowder are two-level whiskers. Hexagonal single crystals are formed by combustion in air in a homogeneous magnetic field, and in case of an inhomogeneous magnetic field faceted elongated crystals of micron size are generated. The formation of elongated structure products is due to the mass transfer of the combustion products in the direction of thermal flows. Hexagonal crystal structures are formed by overheating the combustion products by the action of magnetic field and by increasing the mobility of their structural units in recrystallization thermal wave.

Керамические материалы на основе нитрида алюминия используются в качестве диэлектрических теплоотводящих подложек в микроэлектронике. Учитывая трудности классических методов получения нитрида алюминия, синтез AlN методом сжигания нанопорошка алюминия в воздухе является одним из основных направлений развития технологии нитридов. Вместе с тем, процесс формирования нитрида алюминия при горении в воздухе является неравновесным и протекает в условиях теплового взрыва. Таким образом, представляет интерес изучение фазообразования продуктов сгорания под влиянием внешнего воздействия [1].

Целью работы являлось экспериментальное обоснование образования кристаллических фаз нитрида алюминия различной микрокристаллической структуры в условиях теплового взрыва без внешнего воздействия и в постоянном магнитном поле.

Нанопорошок алюминия представляет собой совокупность сферических частиц, распределение которых близко к нормально-логарифмическому с максимумом 120 нм. В пассивированном малыми добавками воздуха нанопорошке алюминия содержание металлического алюминия составляет 88 мас. %, содержание оксидов и гидроксидов максимально достигает 6 мас. %. [2].

Процесс горения свободно насыпанного нанопорошка алюминия в виде конусообразного образца массой 5 г протекал в две стадии в режиме теплового взрыва. В этих условиях нитрид алюминия

образовывался в виде нитевидных кристаллов «рис. 1», причем процесс горения на второй высокотемпературной стадии сопровождался колебательными процессами, что отражалось на понижении-повышении скорости прироста массы, и характеризовался соответствующими температурными колебаниями « $\pm 200^\circ \text{C}$ » [4].

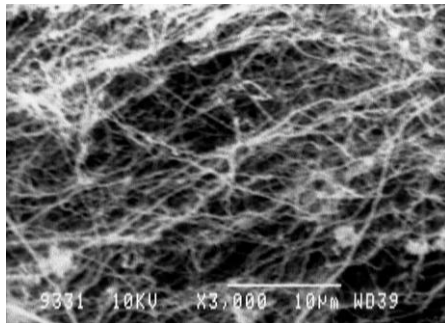


Рис. 1. Микрофотография продуктов сгорания нанопорошка алюминия в воздухе без внешних воздействий

Согласно микрофотографии «рис. 1», нитевидные кристаллы ориентированы в направлении тепловых потоков и массопереноса при горении.

Для исследования влияния температуры на формирование продуктов сгорания нанопорошок алюминия помещали в алундовые тигли объемом 20 см^3 . Это способствовало формированию направления теплоотвода от поверхности горящего образца преимущественно в вертикальном направлении – вдоль восходящего конвективного потока воздуха, нагретого поверхностью горящего образца. В то же время, горение в тигле способствовало сохранению тепла внутри тигля. При горении нанопорошка алюминия в этих условиях «рис. 2» конечные продукты представляли собой неограниченные кристаллиты с характерными размерами от 1 до 5–8 мкм.

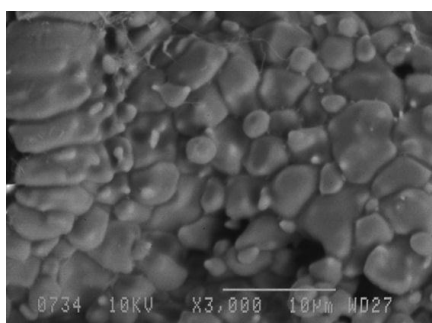


Рис. 2. Микрофотография продуктов сгорания нанопорошка алюминия в алундовом тигле без воздействия магнитного поля

При этом кристаллиты разделены поверхностью раздела, и лишь у небольшого количества имелись признаки начала формирования кристаллической структуры. При горении нанопорошка алюминия в однородном постоянном магнитном поле «напряженностью 1500 эрстед» в открытом алундовом тигле в

условиях теплового взрыва в атмосфере воздуха были синтезированы монокристаллы нитрида алюминия гексагонального габитуса «рис. 3».

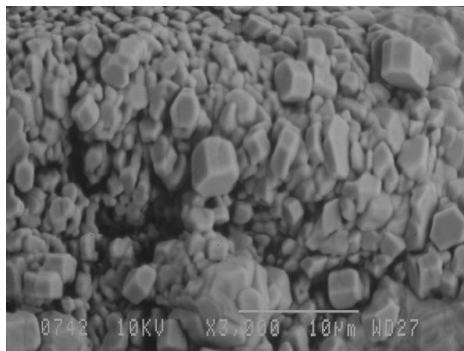


Рис. 3. Микрофотография продуктов сгорания нанопорошка алюминия в алундовом тигле при воздействии однородного магнитного поля

Согласно полученным экспериментальным данным, шестигранные монокристаллы хорошо окристаллизованы и имели характерный размер 2–4 мкм. В то же время, на микрофотографии отсутствуют ограненные кристаллы, размер которых составляет менее 1 мкм. Для больших агломератов также не наблюдается формирование ограненных кристаллов «рис. 3».

Таким образом, повышение температуры сгорания «в тигле» без внешнего воздействия не привело к формированию ограненных структур. В то же время, одновременное действие высокой температуры и однородного постоянного магнитного поля способствовало кристаллизации нитрида алюминия и формированию монокристаллов гексагонального габитуса.

Наиболее вероятно, магнитное поле способствует сохранению ориентации кристаллов продуктов сгорания и их стабилизации в неокристаллизованном состоянии, что приводит к переохлаждению. В однородном магнитном поле процесс кристаллизации, протекающий в тепловой волне и обусловленный выделением энергии, сопровождается переходом неупорядоченных структур в монокристаллы AlN.

Выполнено при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 15-03-05385.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин А.П., Мостовщиков А.В., Толбанова Л.О. Рост монокристаллов нитрида алюминия в условиях теплового взрыва // Письма в ЖТФ, 2011 – т. 37 – вып. 20 – С. 49-53.
2. Ильин А.П., Громов А.А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. – 154 с.
3. Ильин А.П., Проскуровская Л.Т. Двухстадийное горение ультрадисперсного порошка алюминия на воздухе // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26, № 2. С. 71–72.
4. Ильин А.П., Толбанова Л.О., Мостовщиков А.В. Состав промежуточных продуктов горения нанопорошка алюминия в воздухе // Известия Томского политехнического университета, 2008. – т. 313, – № 3. – С. 19-24.