

ПОЛУЧЕНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ НАНОСТРУКТУР γ - Al_2O_3 С ПОМОЩЬЮ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Е.В. Саврук, С.В. Смирнов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634041, Россия, Томск, пр. Кирова, 56А – 443,
8 923 406 27 69, savruk@mail.ru, center@ms.tusur.ru

Эффективным способом создания регулярных наноструктур γ - Al_2O_3 на поверхности α - Al_2O_3 является ее оплавление лазерным излучением с плотностью мощности $10^5 - 10^6$ Вт/см² с помощью импульсного излучения или путем сканирования лазерным лучом по поверхности. Обработка поверхности керамики выполнена с использованием непрерывного и импульсного лазеров на ИАГ+Nd типа «ЛТН-102» и «Квант-12». Показано, что форма и размер образующихся регулярных наноструктур зависят как от направления и скорости течения расплава, так и от ориентации отдельных зерен, по которым идет процесс затвердевания расплава.

Введение

Технология лазерного наноструктурирования материалов представляет интерес для многих применений в различных областях науки и техники – при производстве приборов опто- и радиоэлектроники, в технологиях хранения информации, в способах управления механическими и оптическими свойствами твердых тел, в биомедицинских целях и др. Образующиеся при лазерном воздействии наноструктуры обладают уникальными свойствами и часто не могут быть получены с использованием других технологий. Создание структур нанометрового масштаба на поверхности твердых тел приводит к улучшению как физических, так и механических свойств материала [1].

Эффективным способом создания регулярных наноструктур на поверхности α - Al_2O_3 является ее оплавление лазерным излучением с плотностью мощности $10^5 - 10^6$ Вт/см² с помощью импульсного излучения или путем сканирования лазерным лучом по поверхности. Данные режимы обработки позволяют до минимума свести процессы испарения материала и рассматривать механизм оплавления поверхности как движение жидкой фазы за счет сил поверхностного натяжения.

В данной работе с помощью растровой электронной микроскопии исследовано влияние геометрии ванны расплава и направления течения жидкой фазы и движения фронта кристаллизации на наноструктуру образующихся на поверхности α - Al_2O_3 новых фаз, в частности γ - Al_2O_3 .

Эксперимент

Для экспериментов были взяты образцы поликристаллической алюмооксидной керамики типа ВК-94-1 с содержанием примеси MgO 0,1 – 0,2 weight% в виде пластин размером 30 x 24 x 0,5 мм [2-3].

Обработка поверхности керамики выполнена с использованием непрерывного и импульсного лазеров на ИАГ+Nd типа «ЛТН-102» и «Квант-12». Лазер «ЛТН-102» работал в непрерывном режиме со средней мощностью излучения 10 Вт. Скорость движения луча лазера составила 10 см/с. Лазерный луч фокусировался в пятно диаметром 20 мкм. Лазер «Квант-12» работал в импульсном режиме с длительностью импульсов

$4 \cdot 10^{-3}$ с и энергией 4 Дж. Луч лазера фокусировался в пятно диаметром 50 мкм.

Исследование образовавшихся наноструктур на поверхности образцов проводилось на растровом электронном микроскопе Raith150^{TWO} (Германия) с разрешающей способностью 2 нм.

Результаты

Локальная скорость кристаллизации ванны расплава V_s определяется изменением угла ориентации наноструктуры в продольном сечении относительно вектора скорости движения луча лазера и вычисляется из выражения [4]

$$V_s = V_b \cos \theta,$$

где θ – угол между направлениями роста структуры и скорости сканирования V_b как показано на рис. 1.

Скорость V_s по оси OZ увеличивается от нуля (на дне зоны оплавления) до максимального значения (на поверхность), определяемого энергетическими характеристиками лазерного излучения. На дне ванны скорость V_s резко возрастает и затем переходит в состояние, когда $V_s \approx \text{const}$ при значениях $\theta = 60^\circ \dots 85^\circ$ [4].

Типичная форма оплавленной ванны во время лазерной термической обработки для большинства образцов схематично показана на рис. 1, а внешний вид ванны расплава показан на рис. 2 и рис. 3.

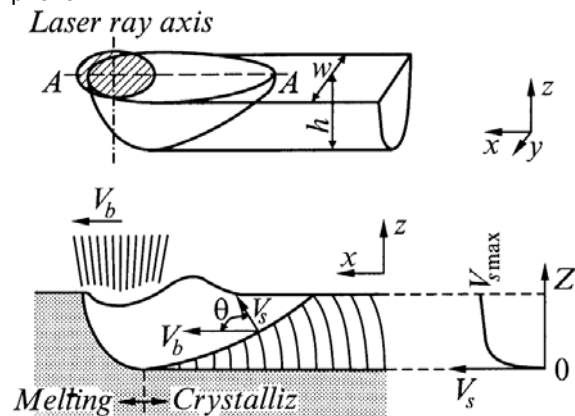


Рис. 1. Схема формы оплавленной ванны при лазерном нагреве [5]. В центральной плоскости XZ переплавленной трассы скорость затвердевания V_s определяется скоростью движения луча лазера V_b и углом θ , w – ширина ванны, h – глубина ванны

Типичные размеры ванны при сканировании луча непрерывного лазера изменялись в пределах $70 \text{ мкм} \geq w \geq 40 \text{ мкм}$ и $50 \text{ мкм} \geq h \geq 30 \text{ мкм}$. Поверхность ванны имела волнистую структуру с периодом порядка $1 - 2 \text{ мкм}$, обусловленную дискретностью перемещения образца с помощью линейного шагового двигателя (рис. 2).

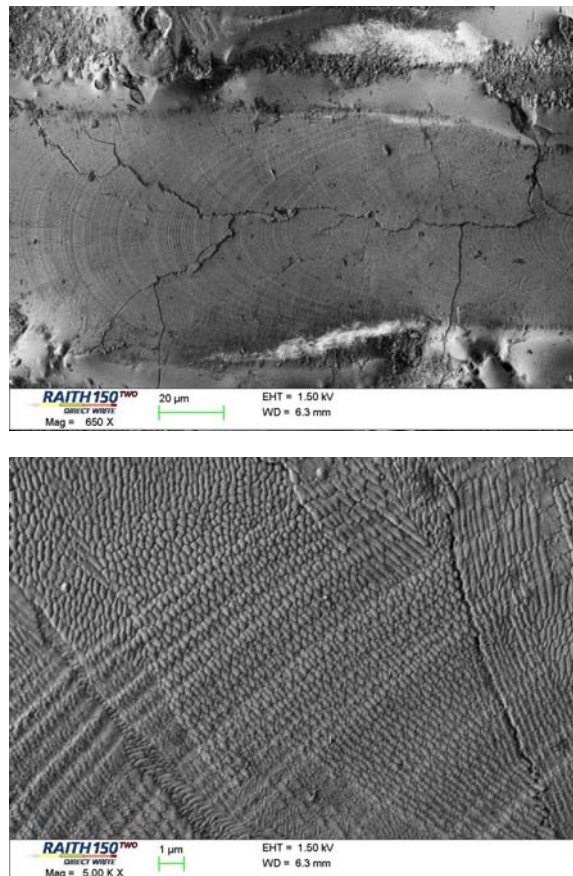


Рис. 2. Фотографии поверхности алюмооксидной керамики после сканирования лазерным лучом с плотностью мощности 10^5 Вт/см^2 и скоростью сканирования 10 см/с

При сканировании луча непрерывного лазера происходит кристаллизация расплавленного слоя вдоль поверхности материала. Характерный размер наноструктур составляет 200 нм . Отсутствие правильной огранки кристаллов указывает на неустойчивость процесса кристаллизации. В результате затвердевания расплава наблюдаются образования типа эпитаксиальных пленок $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, ориентация которых зависит от ориентации зерна, на поверхности которого они растут. Гипотеза об эпитаксиальном росте подтверждается ранее проведенным рентгенофазовым анализом [6].

При импульсной обработке ванна расплава имела коническую форму диаметром порядка 500 мкм и глубиной 250 мкм .

При импульсном воздействии излучения лазера на материал образующиеся структуры имеют правильную кубическую форму, что свидетельствует об образовании новой фазы – γ -фазы Al_2O_3 . Средний размер зерна составляет 150 нм . Кристаллизация материала зависит от ориентации

зерен. Это также подтверждается результатами рентгенофазового анализа [6].

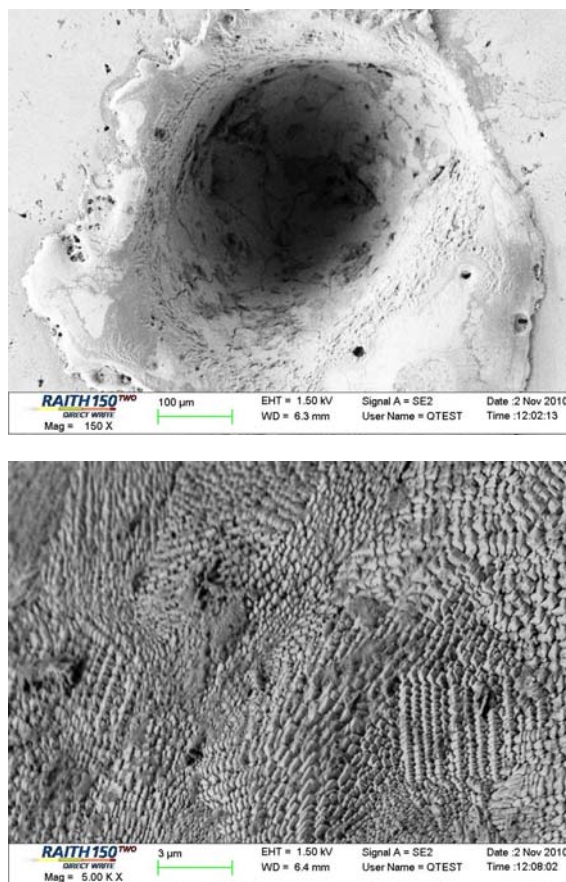


Рис. 3. Фотографии поверхности алюмооксидной керамики после импульсного воздействия с длительностью импульсов $4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ и энергией 4 Дж

Заключение

Показано, что с помощью лазерной обработки можно образовывать наноструктуры на поверхности поликристаллических материалов. При этом форма и размер кристаллитов зависят как от направления и скорости течения расплава, так и от ориентации отдельных зерен. Таким образом, появляется возможность управления оптическими, механическими и электрическими свойствами поверхности за счет ориентированных определенным образом структурных образований.

Наноструктурирование может быть использовано при создании высокоэффективных полупроводниковых источников света и дифракционных оптических приборов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 73/10 от 15.07.2010 в порядке реализации Постановления №218 Правительства РФ и в рамках гранта «У.М.Н.И.К.» фонда Бортника (Госконтракт № 8725p/13139 от 14.01.2011).

Список литературы

1. Завестовская И.Н. // Квантовая электроника. – 2010. – 40 (№11). – С. 942-953.

2. Саврук Е.В., Смирнов С.В., Швайцер А.Н. // Известия вузов. Физика. – 2008. – 51 (№ 11/2). – С. 114–117.
3. Саврук Е.В. // Доклады ТУСУРа. – 2010. – 2 (22). – Ч. 1. – С. 204-206.
4. Галенко П.К., Харанжевский Е.В., Данилов Д.А. // Журнал технической физики. – 2002. – 72 (5). – С. 48-55.
5. Gremaud M., Carrard M., Kurz W. // Acta Metal. Mater. – 1990. – 38 (12). – P. 2587-2599.
6. Саврук Е.В., Смирнов С.В. // Доклады ТУСУРа. – 2010. – 1 (21). – Ч. 2. – С. 123-127.

PRODUCTION OF REGULAR γ - Al_2O_3 NANOSTRUCTURES USING INTENSE LASER RADIATION

Elena Savruk, Seraphim Smirnov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
56A Kirova Prospect, Tomsk, Russia 634041, 8 923 406 27 69,
savruk@mail.ru, center@ms.tusur.ru

Fusion is an effective method of creation regular γ - Al_2O_3 nanostructures on α - Al_2O_3 surface. For this purpose are used laser radiation with density of capacity $10^5 - 10^6 \text{ W/cm}^2$ by means of pulse radiation or scanning by a laser beam on a surface. The ceramics surface treatment is made using both continuous and pulse lasers based on YAG+Nd type "LTN-102" and "Quantum-12". It is shown, that the form and the size formed regular nanostructures depends on both direction and speed of current melt, and grains orientation on which there is a process of melt solidification.