

УДК: 621.315.612:546.62-31

Е.В. Саврук

Получение периодических наноструктур γ - Al_2O_3 при воздействии лазерного излучения

Эффективным способом создания периодических 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 периодических наноструктур зависят как от направления и скорости течения расплава, так и от ориентации отдельных зерен, по которым идет процесс затвердевания расплава.

Ключевые слова: алюмооксидная керамика, лазерная обработка, периодические наноструктуры.

Кристаллам светодиодов изначально присуща низкая светоотдача, связанная с высокими потерями излучаемого света из-за отражения и поглощения в конструкционных материалах. Большая часть излучаемого света отражается внутрь на границе раздела полупроводник–воздух, и только небольшая доля попадает наружу. Для преодоления данного недостатка было предложено много идей. Два основных подхода, применяемых сейчас в светодиодной индустрии, – это технология случайного текстурирования верхнего слоя р-GaN и технология отформованной сапфировой подложки, т.е. выращивание эпитаксиальных слоев GaN происходит на подвергнутой микрообработке подложке. Оба метода являются довольно дорогостоящими и трудоемкими и требуют применения специального технологического оборудования [1].

Наиболее перспективным и экономически выгодным является процесс создания периодических и квазипериодических светорассеивающих наноструктур на поверхности моно- и поликристаллических материалов с помощью мощного лазерного излучения. Создание периодических и квазипериодических наноструктур позволяет управлять оптическими свойствами поверхности материалов. Благодаря заданию определенных оптических свойств поверхности наблюдается повышение эффективности светоотдачи на 30–40%, т.к. формы границ раздела работают в качестве центров рассеивания или преломления, что снижает общее внутреннее отражение.

Эффективным способом создания периодических 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 .

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 30×24×0,5 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.

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]

$$V_s = V_b \cdot \cos\theta, \quad (1)$$

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

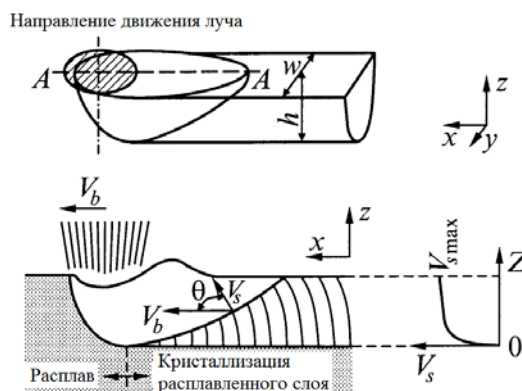


Рис. 1. Схема формы оплавленной ванны при лазерном нагреве [5]. В центральной плоскости XZ переоплавленной трассы скорость затвердевания V_s определяется скоростью движения луча лазера V_b и углом θ , w – ширина ванны, h – глубина ванны

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 – на рис. 2 и 3.

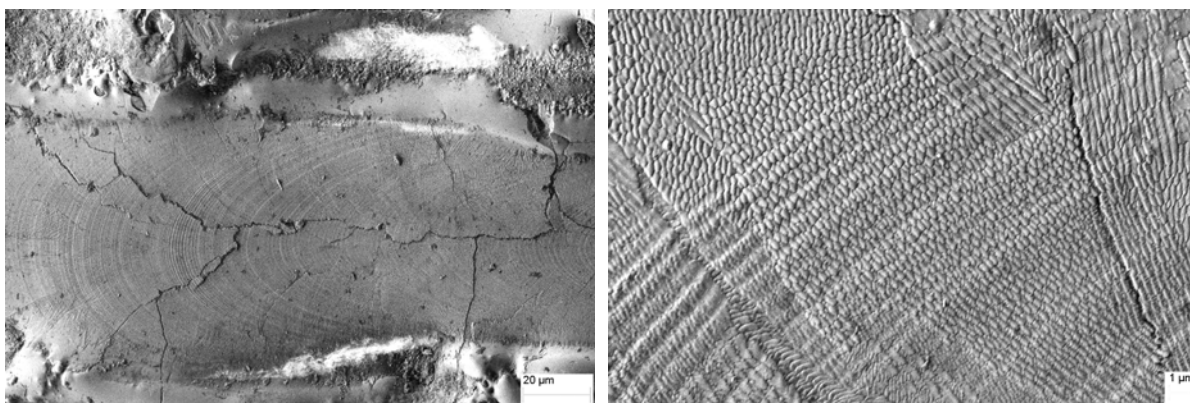


Рис. 2. Фотографии поверхности алюмооксидной керамики после сканирования лазерным лучом с плотностью мощности 10^5 Вт/см^2 и скоростью сканирования 10 см/с

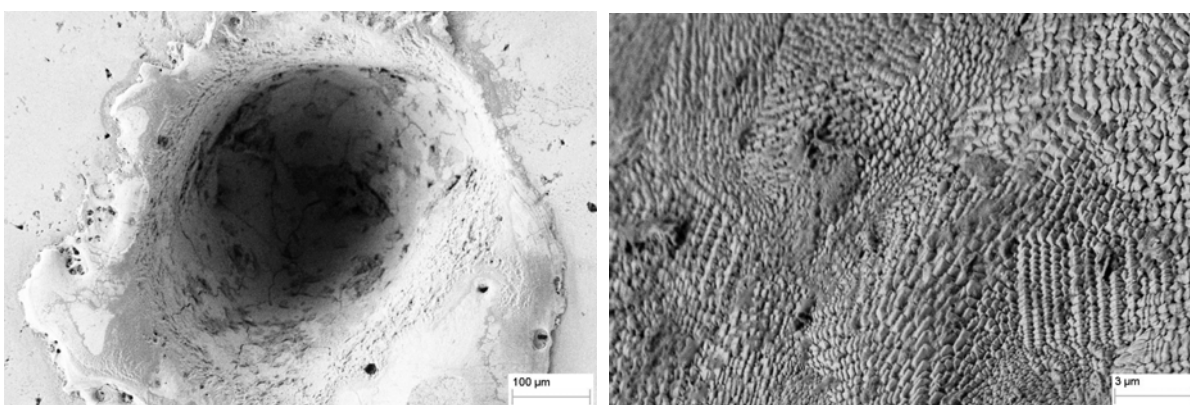


Рис. 3. Фотографии поверхности алюмооксидной керамики после импульсного воздействия с длительностью импульсов $4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ и энергией 4 Дж

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 $1\text{--}2 \text{ мкм}$, обусловленную дискретностью перемещения образца с помощью линейного шагового двигателя (см. рис. 2).

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 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, ориен-

тация 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].

Показано, что с помощью лазерной обработки возможно образование 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 № 8725р/13139 от 14.01.2011).

Литература

1. Ли К.Д. Наноформовка увеличивает эффективность светодиодов / К.Д. Ли, Р. Сжодин, Т. Эрикссон // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 5. – С. 22–24.
2. Саврук Е.В. Структура поверхности алюмооксидной керамики после лазерной обработки / Е.В. Саврук, С.В. Смирнов, А.Н. Швайцер // Известия вузов. Физика. – 2008. – Т. 51, № 11/2. – С. 114–117.
3. Саврук Е.В. Наноструктурирование поверхности алюмооксидной керамики с помощью лазерных и электронных пучков // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2 (22), ч. 1. – С. 204–206.
4. Галенко П.К. Высокоскоростная кристаллизация конструкционной стали при лазерной обработке поверхности / П.К. Голенко, Е.В. Харанжевский, Д.А. Данилов // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, вып. 5. – С. 48–55.
5. Gremaud M. The Microstructure of Rapidly Solidified Al-Fe Alloys Subjected to Laser Surface Treatment / M. Gremaud, M. Carrard, W. Kurz // Acta Metall Mater. – 1990. – № 38 (12). – P. 2587–2599.
6. Саврук Е.В. Исследование структуры поверхности подложек ГИС СВЧ из алюмооксидной керамики после электронной и лазерной обработки / Е.В. Саврук, С.В. Смирнов // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 1 (21), ч. 2. – С. 123–127.

Саврук Елена Владимировна

Аспирант каф. физической электроники ТУСУРа

Тел.: 8-923-406-27-69

Эл. почта: savruk@mail.ru

Savruk E.V.

Production of periodic γ - Al_2O_3 nanostructures using intense laser radiation

Fusion is an effective method of creation periodic γ - Al_2O_3 nanostructures on α - Al_2O_3 surface. For this purpose laser radiation is used with density of capacity 10^5 – 10^6 W/cm² 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 of formed periodic nanostructures depends on both direction and speed of current melt, and grains orientation on which there is a process of melt solidification.

Keywords: aluminum oxide ceramics, laser processing, periodic surface nanotexturing.