

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВА ИЗ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА НИЗКОРАЗМЕРНЫЕ ПЛАНАРНЫЕ СЛОИ

Каранчук Д.Я., Скапцов А.С., Юревич Ю.В. Ошибка! Закладка не определена.
Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г. Могилев, Республика Беларусь

Нерезонансное взаимодействие лазерного излучения с образцами оксидных веществ успешно используется для формирования микроструктур в приповерхностных слоях различных материалов. Одним из перспективных технологических приемов является лазерное легирование металлов и полупроводников. Представляет интерес также получение электро- и оптически активных дисперсных сред в объеме или на поверхности субмикронных слоев оптически прозрачных полупроводников и низкоразмерных твердых диэлектрических частиц для исследования их фазовых превращений при кратковременном лазерном нагреве [1]. Перспективным материалом для получения дисперсных систем, используемых в качестве защитных покрытий агрессивных химических материалов, по общему мнению, является стеклокерамика. Так называемые ситаллы, представленные модификациями этого состояния вещества, обладают такими свойствами, как малая величина линейного коэффициента теплового расширения (КТР), отсутствие фракционного испарения при их плавлении и возможность избирательной аморфизации, то есть, получения оптически прозрачных участков в поверхности образца (как правило, изготовленного в виде тонкого слоя) [2].

В основу настоящего сообщения положены результаты анализа распределения крупномасштабных частиц из оксидов титана, германия и металлического серебра в объеме стеклофазы, образующейся после проплавления стеклокерамики с покрытием при кратковременном воздействии лазерного излучения. В качестве подложек использовались пластины толщиной 0,6 мм из оптически непрозрачной стеклокерамики (ситалл СТ-50), на поверхность которых предварительно наносились слои титана, германия или серебра. Впоследствии слои Ti и Ge окислялись на воздухе до оксидов TiO_2 и GeO_2 соответственно. Толщина пленок составляла от 0,15 до 0,35 мкм. Перед воздействием излучением CO_2 лазера (одномодовый, с максимальной мощностью 25 Вт) образцы предварительно подогревались до температуры 1000 – 1050 К. Излучение направлялось на поверхность образца через диафрагму без фокусировки (выделялась центральная область пучка, его диаметр на поверхности образца составлял 3 мм). Производилось локальное плавление пластины на всю ее толщину. Воздействию внешнего электрического поля подвергалась грань, не содержащая покрытия. После прекращения облучения и охлаждения расплава до твердого состояния вещество оставалось в аморфной фазе, прозрачной для света видимого диапазона.

Нагрев поверхности с покрытием при воздействии лазерного излучения приводит к нарушению его целостности. Сам процесс и порог образования трещин при нагреве пленок зависит от материала слоя и подложки, качества обработки и очистки подложки, толщины слоя, плотности светового потока, времени облучения, числа импульсов и др. Локальный нагрев тонких слоев (в сущности, пленок) приводит к возникновению температурных напряжений, величина которых зависит от градиента температуры. При коротких временах воздействия ($\sim (1...5) \cdot 10^{-8}$ с) упругие деформации приводят к появлению сжимающих напряжений в зоне облучения. С увеличением длительности

воздействия характер температурного поля меняется. В этом случае необходимо учитывать размеры прогретой зоны r не только в глубину, но и в ширину. Если считать деформации упругими, то внутри зоны облучения $r < r_0$ (r_0 – некоторое критическое расстояние) радиальные и нормальные напряжения будут сжимающими.

Это объясняется тем, что свободному расширению нагретой области препятствуют окружающие участки материала, которые подвергаются воздействию внешнего электрического поля. Процесс восстановления тогда радикально оптимизируется. Выше значения r_0 ($r > r_0$) напряжения способны стать растягивающими, могут превысить предел прочности и вызвать появление радиальной трещины. Процесс и порог образования трещин (без плавления пленок) зависят от материалов пленки и подложки, качества обработки и очистки подложки, толщины пленки, плотности светового потока и числа импульсов облучения. Увеличение толщины слоя в одних случаях снижает вероятность появления трещин, в других увеличивает. Экспериментальная проверка показала [2], что при приближении КТР пленки и подложки вероятность появления трещин значительно сокращается. Вследствие того, что оба слоя (пленки и подложки) связаны, основываясь на методике, излагаемой в [3], проведенными оригинальными оценками показано, что тепловой нагрев за время t каждого из них должен сопровождаться возникновением динамических упругих напряжений (U_1 и U_2). С учетом ограниченности нагреваемого слоя по всем трем координатам тогда можно записать следующие уравнения:

$$U_1/\kappa_1 l^2 \sigma_1 = -E_1 \Delta T \dot{\sigma}_2 / E_2, \quad U_2/\alpha \kappa_2 \sigma_2 = t E_2 \Delta T \dot{\sigma}_1 / E_1, \quad (1)$$

где κ_1 и κ_2 – величина КТР пленки и подложки, ΔT – изменение температуры при нагреве, σ_1 и σ_2 – переменные упругих напряжений, E_1 и E_2 – модули Юнга пленки и подложки, α – температуропроводность подложки, l – толщина пленки. Аналитическое решение уравнений (1) для очевидного условия $U_1/\kappa_1 \sigma_1 = U_2/\kappa_2 \sigma_2$ приводит к выражениям для σ_1 и σ_2 :

$$\sigma_1(t) = (\kappa_2 - \kappa_1) E_1 \exp\left(-\frac{E_1 l}{E_2 \sqrt{\alpha t}}\right) \Delta T, \quad \sigma_2(t) = (\kappa_2 - \kappa_1) E_1 \exp\left(-\frac{E_2 \sqrt{\alpha t}}{E_1 l}\right) \Delta T. \quad (2)$$

При $\kappa_1 < \kappa_2$ с учетом того, что при остывании $\Delta T = 0$, как следует из (2), $\sigma_1 < 0$, а $\sigma_2 > 0$, то есть пленка при остывании испытывает напряжение сжатия, а слой подложки – растяжение. Обычно, если материал испытывает растяжение, то $\sigma > 0$; если сжатие – то $\sigma < 0$. При условии $\kappa_1 > \kappa_2$ – должно выполняться $\sigma_1 > 0$, и $\sigma_2 < 0$, что означает растрескивание пленки. Для равенства $\kappa_1 = \kappa_2$ трещины должны отсутствовать. В этом случае, очевидно, немаловажной причиной разрыва покрытия является увеличение объема вещества в зоне воздействия лазерного излучения при фазовом переходе ситалла из квазикристаллического состояния в аморфное.

Список использованных источников

1. Фазовые превращения твердых частиц малого размера при лазерном нагреве / Д.В. Федосеев и др. // Доклады АН СССР. – 1983. – Т.270, №4. – С. 918-922.
2. Laser – stimulated local change of glass – ceramic optical properties / P.A. Skiba [et al.] // Optical Engineering. 1994. – Vol. 33, № 11. – P. 3572-3577.
3. О возможности использования периодического поверхностного микрорельефа для определения оптических констант вещества в условиях лазерного облучения / П.В. Базакуца и др // Поверхность. – 1999. - №6. – С.82-85.