Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. С. Красников, Л. И. Миркин, Фазовый состав, микроструктура, механические и диэлектрические свойства стеклокристаллических материалов и керамики, подвергшихся различным режимам облучения, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 137–140

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu291>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.224.187.69

26 апреля 2023 г., 10:11:37

руемых в конструкции, расчетная схема которой приведена на рис. 1. Понятно, что предложенная методика может быть обобщена и с учетом влияния напряжений на характеристические температуры мартенситных переходов, согласно соотношения Клаузиуса-Клапейрона (4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Проблемы прочности. 1983. № 11. С. 23 – 26.
2. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. Металлофизика // 1984. Т.6. № 3. С. 44-47.
3. Андронов И.Н., Богданов Н.П., Власов В.П., Северова Н.А. Влияние вида напряженного состояния на характер работоспособности никелида титана в условиях производства механической работы // Современные проблемы прочности. Научные труды II Международного семинара имени В.А. Лихачева. Старая – Русса: НГУ им. Ярослава Мудрого. 1998. Т.2. С. 198 -200.
4. Андронов И.Н., Гуревич А.С., Лихачев В.А., Недбаев П.И. Явление многократно-обратимой памяти формы и реактивные напряжения в сплаве ТН-1 // Актуальные проблемы прочности. Материалы XXIV Всесоюзного семинара. Днепропетровск: ДХТИ, 1990. С. 147-148.
5. Андронов И.Н., Гуревич А.С., Пелепюк В.В. Устройство для герметизации межтрубного пространства скважин. Пат. №1506075 СССР: МКИ Е 21 В 33 / 12. Заявка № 4347109/ 23 – 03. Заявл.16.07.82. Оpubл. 07.09.89 г. Бюл. 1989. №33. С. 142. УДК 621. 79. (088.8).
6. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука. 1972. 544 с.
7. Хусаинов М. А., Ефремов С.В. Исследование работоспособности термореле // Современные проблемы прочности. Научные труды III Международного семинара имени В.А. Лихачева. Старая – Русса: НГУ им. Ярослава Мудрого. 1999. Т.2. С. 190 - 194.
8. Хусаинов М. А., Ефремов С.В. Исследование функциональных свойств спирали с памятью формы при наличии пружины смещения // Современные проблемы прочности. Научные труды IV Международного семинара имени В.А. Лихачева. Старая – Русса: НГУ им. Ярослава Мудрого. 2000. Т.2. С. 249 - 251.
9. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно - аналитическая теория прочности. Санкт-Петербург: СПГУ. 1993. 471с.

УДК 539.21

А.С. Красников, Л.И. Миркин

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, МИКРОСТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И КЕРАМИКИ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМАМ ОБЛУЧЕНИЯ

Исследовано влияние лазерного облучения на фазовый состав, микроструктуру, механические и диэлектрические свойства стеклокристаллических материалов и керамики. Показано, что воздействие лазерного облучения на стеклокристаллические материалы приводит к аморфизации структуры, снижению микротвердости, образованию микротрещин, а также к изменению их оптических, диэлектрических и химических свойств.

В работах [1,2] показано, что при действии излучения с плотностью потока $q = 10^6 \div 10^8 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ и с длительностью импульса $\tau = 10^{-3} / 10^{-9} \text{ с}$, механизмы удаления вещества в лазерных экспериментах нельзя считать к настоящему времени установленными в такой степени, чтобы однозначно предсказать не только результат воздействия излучения, но и фазовый состав продуктов выброса. Изучение этого вопроса крайне важно еще и потому, что лучи лазера находят широкое применение в технологии получения изделий из керамики, поэтому нахождение оптимальных режимов облучения позволяет решить задачу о повышении процента выхода годных изделий. Особый интерес представляет изучение механизма взаимодействия лазерного излучения умеренных плотностей потока мощности ($q < 10^6 \text{ Вт/см}^2$) с длительностью импульса ($\tau = 60 \text{ нс} - 400 \text{ мкс}$) с СКМ и керамикой. Это связано с тем, что в лазерной технологии такие потоки мощности используются для проведения целого ряда технологических операций (пайки, скрайбирования, прошивки отверстия и т.д.).

При действии лазерного луча на вещество в нем могут протекать тепловые, механические, электрические и другие процессы [3]. При взаимодействии лазерного излучения умеренного потока мощности со стеклокристаллическим материалом следует ожидать фазовых переходов первого рода, которые могут приводить к изменению содержания аморфной и кристаллической фаз в зоне действия луча лазера. Актуальным также является вопрос исследования микроструктуры облученного материала и ее влияние на механические свойства керамики. Нагревание материалов с высокими скоростями должно вызывать изменение фазового состава, появление

термических напряжений и, как следствие, образование микротрещин. Последние в свою очередь будут лимитировать прочностные свойства материалов.

Р и с. 1. Зависимость содержания кристаллической фазы в термообработанных ситаллоцементных образцах от температуры кристаллизации

Р и с. 2. Дифрактограмма образцов фотоситалла: а - до облучения, б - после облучения

В результате проведенных исследований установлено, что действие миллисекундных лазерных импульсов с длиной волны $\lambda=500,8$ нм и плотностью потока мощности 10^2 Вт/см² на стеклокристаллический цемент приводит к аморфизации его структуры и снижению микротвердости (рис.1).

Нагрев материала с большими скоростями в стеклокристаллическом материале вызвало плавление кристаллической фазы, уменьшение размеров кристаллов и повышение содержания аморфной фазы в образцах. При визуальном рассмотрении поверхности облученного образца наблюдается образование каверн, свидетельствующих об испарении вещества и выбросе материала. Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что лазерное излучение существенно меняет структуру и состав поверхностного слоя материала. На рис. 2 приведены дифрактограммы образцов исходного фотоситалла и обработанного лучами лазера.

Воздействие непрерывного лазерного излучения с длиной волны $\lambda=10,6 \times 10^3$ нм и плотностью потока мощностью 10^4 Вт/см² на литиевоалюмосиликатный фотоситалл приводило к аморфизации структуры поверхностного слоя; закономерному снижению микротвердости; образованию поверхностных микротрещин, снижающих его прочностные свойства; росту $\tan \delta$, а также к изменению его оптических свойств. Механизм аморфизации литиевоалюмосиликатного фотоситалла под действием лазерного излучения может быть представлен следующим образом. Плавление кристаллических фаз осуществляется за счет концентрации энергии лазерного излучения в поверхностном слое вещества и передачи ее внутрь материала за счет эффекта теплопроводности. При этом также необходимо учитывать эффект прямолинейного поглощения излучения на колебательных уровнях атомных групп Si – O – Si – R. Дело в том, что резонансные частоты поглощения с основного невозбужденного состояния и с возбужденных состояний Si – O – Si – R практически не отличаются, если пренебречь эффектом ангармоничности колебаний. Известно, что энергетические уровни гармонического осциллятора эквидистантны.

В работах Т.Н.Соколовой, Л.И.Миркина и Л.А. Сурменко [1-3] высказано предположение, что при образовании отверстий в корундовой керамике с помощью лазерного излучения с длительностью импульса $\sim 10^{-3}$ с, $q \sim 10^6$ Вт/см² и $\lambda = 1,064 \cdot 10^3$ нм, происходит плавление кристаллической фазы и миграция расплава к нагретым стенкам развивающейся лунки, с последующим выносом его на поверхность с образованием характерного аморфного валика. Эту гипотезу необходимо было подтвердить или опровергнуть экспериментально. Для решения данной задачи нами был использован метод малых диафрагм, позволяющий получать информацию о структурном состоянии образца непосредственно в зоне действия луча. Объектами исследования являлись керамики ВК-100-1 и ВК-94-1, широко применяемые в электронной технике.

Обработка алюмооксидной керамики ВК-94-1 и ВК-100-1 лазерным излучением с длиной волны $\lambda=0,694\cdot 10^3$ нм и плотность потока мощности $q\sim 10^5$ Вт/см² с длительностью импульса ~ 1 мс приводило к аморфизации структуры в зоне действия луча и к образованию радиальных микротрещин, размеры которых достигали 40-50 мкм. При обработке алюмооксидной керамики ВК-10 и сапфира лучами лазера с длиной волны $\lambda=1,06\cdot 10^3$ нм и плотностью потока мощности $\sim 10^6$ Вт/см² с длительностью импульса ~ 2 мс наблюдалась аморфизация в зоне действия луча и снижение величины микротвердости в облучаемой зоне. Полученная фотометрическая кривая распределения рентгеновских лучей, как функция угла рассеяния $I=I(2\theta)$ в зоне действия луча лазера, отвечает ближнему порядку с $d=0,6$ нм. Результаты рентгенографического исследования зоны действия луча лазера приведены на рис. 3. Процессы, происходящие в керамике под действием лучей лазера, приводят к нагреванию и охлаждению материала с высокими скоростями. В результате образуемому расплаву как бы удается «проскочить» температурный интервал кристаллизации и расплав затвердевает в аморфном состоянии. Это приводит к уменьшению общего содержания кристаллической фазы в образце до 5%.

Особенно важно исследование химической устойчивости керамики, подвергшейся воздействию лазерного излучения. Известно, что химическая устойчивость керамики зависит не только от ее химического состава, но и от микроструктуры и фазового состава. Большое влияние на химическую устойчивость оказывает наличие стекловидной фазы. Так, согласно работам Н.М.Павлушкина, А.И. Бережного [4] присутствие этой фазы сильно снижает химическую устойчивость керамических корундовых материалов по отношению к кислотам и щелочам. Так как в зоне действия лазерного луча следует ожидать изменения фазового состава, что должно приводить к изменению химической устойчивости материала. Полученные нами результаты достаточно хорошо коррелируют с такими изложенными представлениями. Аморфизация структуры керамики в зоне действия луча лазера приводила к закономерному снижению величины микротвердости. Химическое травление зоны позволяло уменьшить содержание аморфной фазы и приводило к росту величины микротвердости.

Результаты измерений величины микротвердости образцов в зоне действия луча лазера приведены в таблице. Видно, что микротвердость большинства образцов после травления значительно возросла. Это можно объяснить уменьшением в зоне действия луча лазера аморфной фазы.

Микротвердость образцов, подвергшихся лазерному воздействию при различных напряжениях накачки (U_n) до травления (H_1) после травления (H_2)

U_n , В	$H_{исх}$, ГПа	H_1 , ГПа	H_2 , ГПа
750	20,6	18,7	21,3
550	20,0	17,0	19,9
550	20,0	16,1	19,9
550	28,5	20,6	24,4
750	22,0	—	16,6
750	21,0	18,7	28,3

Р и с. 3. Рентгенограмма зоны действия луча лазера в образце ($U_n = 550$ В, $\tau = 2$ мс) и фотометрическая кривая распределения интенсивности излучения (как функция угла рассеяния)

800	19,0	18,8	28,3
750	19,6	13,9	24,4
850	22,0	16,5	36,2
650	48,8	15,6	33,3
650	28,5	15,9	28,3
650	21,3	17,7	19,9

Выполненные исследования позволяют констатировать следующее.

1. Воздействие лазерного излучения с умеренными потоками мощности $q < 10^6 \text{ Вт/см}^2$ на стеклокристаллические материалы и алюмооксидную керамику приводило к аморфизации структуры, снижению микротвердости, образованию микротрещин, лимитирующих прочностные свойства материалов, а также к изменению их оптических, диэлектрических и химических свойств.

2. На основании полученных результатов оптимизированы параметры лазерного излучения и повышен процент выхода годных изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколова Т.Н., Миркин Л.И., Сурменко Л.А. Опыт применения лазерного оборудования при прошивке отверстий в корундовой керамике // Опыт применения лазеров в машиностроении и приборостроении. М.: Машиностроение, 1981. 246 с.
2. Соколова Т.Н., Сурменко Л. А. Лазерная обработка материалов, применяемых в электронной технике // Электронная техника. Сер.7. Технология, организация производства и оборудования 1986. Вып. 1(11161). С.3 - 7.
3. Миркин Л. И. Физические основы обработки материалов лучами лазера М.: Изд-во МГУ, 1975. 270 с.
4. Павлушкин Н. М., Бережной А. И. Химическая стойкость корундовых материалов // Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева. М.: МХТИ, 1954. Вып. 18. С. 175-178.

УДК 539. 216.2: 537. 622. 6

Л. А. Митлина, М.В. Виноградова, Ю.В. Великанова, Е.В. Кривошеева

О ДВИЖЕНИИ И РАЗМНОЖЕНИИ ДИСЛОКАЦИЙ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ФЕРРОШПИНЕЛЯХ

Рассматривается возможность применения концепции дипольного упрочнения эпитаксиальных феррошпинелей при внешних воздействиях, а также при релаксации гетероэпитаксиальных и термических напряжений в процессе синтеза и охлаждения. Проведено сопоставление теории и эксперимента для движения дислокаций в электрическом поле и поле внешних деформаций. Показано, что энергия активации движения дислокаций $U \sim 0,5 \text{ эВ}$, удовлетворительно совпадает с энергией связи дислокаций с примесями, а экспериментально найденная линейная плотность заряда на дислокациях $\sim 10^{-12} \text{ Кл м}^{-1} \text{ с}$ - расчетной по теории Эшелби.

В процессе синтеза и охлаждения в эпитаксиальных магний-марганцевых феррошпинелях, полученных газозфазным методом на окиси магния, некоторая доля термических и гетероэпитаксиальных напряжений релаксируют за счет образования дислокаций [1 – 12]. Дополнительная генерация дислокаций происходит при разориентации зародышей, поскольку рост пленок феррошпинелей осуществляется трехмерным зародышеобразованием [5,7]. Кроме того, в условиях хлоридного процесса трудно осуществить получение точного стехиометрического состава, так как он достигается лишь при строго определенном сочетании температуры и парциальных давлений в газовой фазе. Отклонение от стехиометрии эквивалентно присутствию в кристалле точечных дефектов.

Поскольку эти дефекты нельзя устранить при получении пленок феррошпинелей, то необходимо изучить их поведение при различных механических, тепловых, электрических и магнитных воздействиях.

Данная работа является продолжением работ [1 – 12] по изучению общих закономерностей и физических особенностей дефектообразования в эпитаксиальных феррошпинелях.