**Синтез лазерных керамик**

*В.В. Осипов*

*Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург.*

*e-mail:* [*osipov@iep.uran.ru*](mailto:osipov@iep.uran.ru)

В последние годы по-прежнему уделяется значительное внимание совершенствованию технологии синтеза высокопрозрачных керамик и созданию на их основе новых материалов. Такие керамики находят широкое применение в качестве активных элементов твердотельных лазеров, оптической брони, колб мощных ламп высокого давления, жаро- и механопрочных окон и.т.д. Связано это с наличием у них ряда важных преимуществ перед монокристаллами: большие размеры, улучшенные термодинамические характеристики, возможность синтеза композитных образцов, быстрота производства, меньшие энергозатраты.

Появление таких достоинств у высокопрозрачных керамик связано с применением для их синтеза нанопорошков. Это позволило уменьшить температуру их приготовления примерно на одну треть и в следствии действия на наночастицы мощных капиллярных сил получить беспористую, а значит, и высокопрозрачную керамику. Например, о создании лазерной керамики впервые сообщалось в 1995г.[1], а сейчас благодаря использованию такого подхода непрерывная мощность твердотельных лазеров выросла на два порядка и достигла 105,5 кВт [2], а в лазерах на тонких дисках на основе композитной керамики с активным элементом диаметром 25 мм и толщиной 0,2 мм получена непрерывная генерация мощностью 6,5 кВт [3].

Создание высокопрозрачных керамик можно условно подразделить на три этапа: получение нанопорошков, их компактирование и спекание компактов. Основные требования к нанопорошкам: малые размеры наночастиц, слабая их агломерация, высокая чистота и кубическая фаза. Наиболее полно этим требованиям отвечают нанопорошки, формирующиеся в лазерном факеле, образующимся при воздействии излучения на мишень. Нами создана технология лазерного синтеза нанопорошков. При этом были исследованы основные характеристики лазерного факела, установлены причины появления в нанопорошке крупных бесформенных частиц ~100 мкм и сферических частиц с диаметром ~1 мм, разработаны методы сепарации и улавливания нанопорошка. В частности, установлено, что появление в нанопорошке крупных бесформенных частиц обусловлено формированием в полупрозрачной мишени тепловой волны, развивающейся от дефекта по лучу к поверхности мишени. Если температура в волне достигает температуры плавления, происходит откол передней поверхности мишени. А появление микронных сферических частиц обусловлено развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Учёт этих факторов позволил при мощности лазера 600 Вт получать слабоагломерированные нанопорошки с производительностью до 80 г/час, со средним размером частиц ~10 нм и распределением частиц по размерам 5-45 нм.

При исследовании компактирования нанопорошков показано, что относительная плотность компактов практически не зависит от метода компактирования (одноосное статическое прессование с воздействием ультразвука на наночастицы и без него, магнито-импульсное прессование, холодное изостатическое прессование), а определяется давлением прессования.

На основе данных по прокаливанию нанопорошков и компактов были создан ряд методик синтеза высокопрозрачных лазерных керамик. Исследована морфология, спектральные и люминесцентные характеристики лазерных керамик, а также времена жизни наиболее важных лазерных уровней. При этом показано, что в керамике Nd:Y2O3, допированной Zr и Hf, не удаётся получить генерацию даже при полном отсутствии пор. Найдено, что времена жизни верхнего лазерного уровня 4Fe3/2 иона Nd3+ существенно уменьшаются в присутствии в керамике ионов Zr и Hf. Однако Hf4+ и Zr4+ не могут служить акцепторами энергии 4Fe3/2 из-за существенного различия в энергиях возбуждения. Установлено, что расселение 4Fe3/2 происходит через состояния Hf3+ и Zr3+, наличие которых в нашей керамике установлено методом электронного парамагнитного резонанса.

Замена Nd на Yb позволила совместно с ИЛФ СО РАН впервые получить высокоэффективную генерацию в сильноразупорядоченной керамике на основе Y2O3, с η=29% в непрерывном режиме, а в импульсном – 50% ,совместно с Национальным институтом оптики (г. Флоренция). Кроме того, получены генерация на Nd:YAG керамики с дифференциальной эффективностью η=52,7% (совместно с Национальным институтом оптики, г.Флоренция), на Но с η=40% (совместно с ИЛФ СО РАН), и.т.д.

Создана магнитооптическая керамика на основе Tb2O3 с прозрачностью 82.5%, что на 10% выше, чем у лучших японских образцов, и коэффициентом Верде, V=120 рад/м·Тл, что в три раза превышает аналогичные параметры в коммерческих тербий-галлиевых керамиках.

Отработана технология синтеза композитных Nd:YAG/CrCa:YAG керамик, которые необходимы для создания лазеров, у которых размеры поверхности существенно превосходят толщину активного образца (лазеры на тонких дисках, мощные лазерные системы).

Разработана методика двухэтапной диффузионной сварки YAG керамик. На первом этапе полированные образцы подвергались одноосному давлению 30 МПа при температуре 1440°С в течении 2 часов. На втором этапе они обжигались в вакууме при температуре 1780°С в течении 20 часов. Исследования показали, что границы раздела керамик исчезди в следствие рекристаллизации. Измерения коэффициента ослабления показали, что он остался на прежнем уровне.

Совместно с УрФУ создан Ce:YAG сцинтиллятор, обладающий хорошими временными характеристиками и большим световыходом.

Полученные результаты могут служить основой технологии синтеза ряда лазерных керамик.

Список литературы

1. Ikesue A., Kinoshita T., Kamata K. and Yoshida K. / Fabrication and optical properties of high-performance polycrystalline Nd:YAG ceramics for solid-state lasers // J. Am.Ceram. Soc., 1995, vol. 78(4), p.1033-1040.
2. Latham W.P., Lobad A., Newell T.C., Stalna Ker D., Phipps C. / 6.5 kW, Yb:YAG ceramic thin disk laser // AIP Conf. Proc., 2010, №1278, p.758-764.
3. Northrop Grumman Scales New Heights in Electric Laser Power, Achieves 100 Kilowatts From a Solid-State Laser. Web-site: <http://news.northropgrumman.com/> news / releases/ photo-release-northrop-grumman-scales-new-heights-in-electric-laser-power-achieves-100-kilowatts-from-a-solid-state-laser.