

## Отзыв

на монографию В.И. Петрика: «Развитие технологий высокотемпературных моно- и поликристаллических оптических материалов».

Монография В.И.Петрика посвящена систематизации литературных данных по истории развития технологий высокотемпературных моно и поликристаллических оптических материалов и технологии синтеза шпинели. Физические и оптические свойства шпинели делают ее лучшим, среди всех известных материалов кандидатом для использования в качестве прозрачной брони для иллюминаторов космических и подводных аппаратов, в будущих оптоэлектронных системах наведения ракет и самолетов. Американская армия занимается исследованием шпинели начиная с 1964 года. В СССР работы по синтезу шпинели были начаты в 1972 году и остановлены в 1988 году в связи с прекращением финансирования.

29 октября 2009 года в Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова, по линии ВПК, для проведения испытаний, поступили образцы керамики изготовленные в инициативном порядке В.И. Петриком.

Измерение спектральных характеристик образцов показали их высокую оптическую прозрачность, а рентгеноструктурный анализ показал, что представленная керамика является поликристаллической шпинелью. Получение оптически прозрачной в УФ, видимом и ближнем ИК диапазонах шпинели является огромным научным достижением. Такой существенный прорыв в области синтеза броневой оптической керамики обладающей исключительными оптическими и прочностными характеристиками, стал возможен благодаря применению изостатического прессования активных к уплотнению исходных наноразмерных порошков окиси алюминия и магния полученных золь-гель методом. Большая заслуга В.И. Петрика заключается в том, что он один из первых осознал особые свойства наноразмерных частиц, разработал промышленный способ их получения золь-гель технологией на основе алкоксидов и получением наночастиц с контролируемыми размерами обладающих высокой реакционной способностью. Это позволяет, в том числе, производить спекание при более низких, по сравнению с альтернативными методами, температурах.

Полученные в ходе исследований данные показывают, что использование наноразмерных порошков при производстве керамических материалов способствуют увеличению прочности и пластичности при одновременном повышении их сопротивления усталости и трещиностойкости.

Также, к значительным преимуществам золь - гель метода на основе алкоксидов относится возможность глубокой очистки исходных соединений. Получаемые алкоксиды методом нанопорошки шпинели являются стартовыми материалами в области синтеза керамических материалов нового поколения, проводимых в лаборатории В.И.Петрика.

Необходимо отметить, что для написания монографии задействован большой объем научной литературы. Особое внимание уделено современному состоянию указанных проблем. Развитие данного класса технологий рассматривается как эволюция во времени технической системы, в том числе, как интерактивное взаимодействие человек-техника. Развитие общества и изменение его влияния, с одной стороны, определяют разработку новых технологий, изделий и товаров; а с другой, новые технологии формируют новые возможности и потребности общества. Поэтому представлялось важным проанализировать ход развития данных технологий, в том числе с привлечением понятий о так называемой S-образной логистической кривой развития, которая позволяет не только описывать этапы развития за истекшие периоды времени, но и выработать прогнозы развития технической системы в будущем.

Монография В.И.Петрика состоит из 4 частей и заключения. Каждая часть является самостоятельной и содержит большой объем технической информации.

В первой части, состоящей из двух глав, описана философия поиска оптически прозрачных материалов и дается прогноз всевозможных применений. В этой части автор говорит, почему интерес к оптическим материалам возрос. На наш взгляд, главная причина заключается в том, что при современных темпах разработки природного сырья на основе железа, его может хватить только на 5 поколений. Для поддержания современного темпа развития промышленного производства, ряд стран, которые не имеют крупных месторождений минерального сырья, вынуждены их заменить материалами, имеющимся в земле. Среди них такие оксиды, как кремнезем и глинозем, содержание которых в Земной коре около 40%.

Наряду с поиском новых минералов, возникают задачи, связанные с их применением. Новые задачи требуют иных подходов к новым проблемам. Например, к проблеме поиска новых месторождений минерального сырья, прибавляется и проблема восстановления, а также химической очистки исходных веществ.

Во второй части, состоящей из четырех глав, особое внимание уделяется выращиванию оптически прозрачных, химически чистых, тугоплавких монокристаллов. Основной акцент делается на технологии получения оптически прозрачных монокристаллов лейкосапфира, используемых в оптическом приборостроении. Их химическая чистота имеет принципиальное значение, поскольку физические свойства выращиваемых кристаллов сильно зависят от химической чистоты исходного вещества, а химическая чистота лейкосапфира составляет ~ 99,99%. В монографии использовано общепринятое выражение «сапфир», необходимо добавить «лейко», подчеркнув при этом, что речь идет о бесцветном материале. Автор монографии уделяет пристальное внимание различным методикам получения монокристаллов. Большое количество методик продиктовано разнообразием выращиваемых веществ. Дальнейшее развитие этого направления показало, что большое число методов

не является необходимым условием выращивания тугоплавких монокристаллов. В настоящее время, в основном, используются только 6 методов. Это методы: Вернейля, Чохральского, Зонной плавки, Киропулоса, Бриджмена и Багдасарова. Наибольшее число тугоплавких монокристаллов выращено методом Чохральского.

Среди многих применений монокристаллов лейкосапфира таких, как техническая оптика, лазерная техника, криогенная техника, военная техника и др. хочется обратить внимание на массовое использование монокристаллов лейкосапфира в авиационной и автомобильной промышленности. Сейчас мы находимся в состоянии предстоящей технической революции, связанной с широким внедрением высокоэффективных лейкосапфировых подшипников трения. Известно, что трение пары лейкосапфир по лейкосапфиру имеют самый низкий коэффициент трения среди всех известных пар. А если учесть тот факт, что удельный вес лейкосапфира примерно в два раза ниже удельного веса металлов, используемых при изготовлении подшипников трения, то становится ясным, что мы не только выигрываем в долговечности, но и в весе конструкции. Необходимо иметь в виду, что высокая прозрачность лейкосапфира в той области оптического спектра, в которой находится максимум функции Планка (максимум теплового излучения) - 2÷3 мкм, может быть также использована при создании нового поколения оптически прозрачных двигателей внутреннего сгорания с высоким КПД.

В третьей части, состоящей из четырех глав, основной акцент делается на получении, свойствах и применении оптически прозрачной керамики. Очень подробно и глубоко рассматриваются различные керамические материалы, такие как оксиды алюминия, магния, редкоземельных элементов. Особое внимание уделено оптически прозрачной шпинели, поскольку именно этот материал наиболее перспективен для нужд квантовой электроники. К этой части литературного обзора хотелось бы добавить, что возможен синтез тугоплавких веществ при более низких температурах за счет использования энергии нескомпенсированных химических связей, возникающих в исходном веществе при его диспергировании.

Четвертая часть, состоящая из трех глав, посвящена нахождению областей применения оптически прозрачных монокристаллов и поликристаллических керамик, их взаимосвязи и перспективам развития керамических лазеров. Наиболее интересно использование этих материалов в ракетостроении, для изготовления многослойных бронежилетов, оптически прозрачных двигателей, подшипников и керамических лазеров. Для получения монокристаллов с оптимальными оптическими свойствами особое внимание следует уделить механизмам роста, поскольку именно они определяют физические свойства выращиваемых монокристаллов. К сожалению, объем публикаций по данному вопросу очень мал. Среди возможных объяснений механизмов роста можно выделить два: механизм негранного и гранного роста. В первом случае фронт роста практически повторяет изотермическую поверхность фронта роста, а во втором – монокристалл растет гранями. Таким

образом, напрашивается вывод о том, что рост монокристалла в присутствии примеси осуществляется гранным механизмом, а в ее отсутствии негранным механизмом. Исходя из таких представлений, можно объяснить преимущества и недостатки каждого из методов выращивания.

В целом, эта монография является серьезным исследованием научной литературы в области создания оптически прозрачных тугоплавких материалов. Особенно хочется отметить, что *впервые*:

- а) приводится обзор новых кристаллических материалов и методов их получения, что жизненно необходимо для решения новых научных и технических задач ;
- б) дано квалифицированное описание состояния работ в области получения и перспектив применения тугоплавких прозрачных керамических веществ. Важность этой проблемы подтверждается интенсивным развитием подобных работ в таких высокотехнологических странах, как США и Япония.

Монография В.И. Петрика позволяет понять ситуацию, сложившуюся на данном этапе в материаловеденье и выбрать правильные направления развития.

Главный научный специалист ИК РАН, чл. корр. РАН, академик АН Армянской Республики, академик Российской академии инженерных наук, дважды лауреат Государственной премии (СССР и России), Заслуженный деятель науки и техники, профессор, Доктор ф.-м. наук, Х.С.Багдасаров

18 января 2011

