

## Применение керамических материалов в качестве отражателей Nd:YAG-лазеров

Елин Д.В., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Твердотельные лазеры широко используются для маркировки и резки металлов, для сварки в автомобильном производстве и для обработки материалов в ювелирной промышленности. Их активная лазерная среда накачивается инфракрасными диодами или лампами. Высокоотражающие поверхности квантрона должны обеспечить оптимальную передачу света от источника накачки к лазерному стержню. Поэтому работа лазера и его эффективность напрямую зависят от используемых отражателей.

Стенки отражателя могут быть сделаны из стекла или кварца и покрыты металлическим отражающим слоем, или из керамических окисных порошков, полимеров и других керамических материалов.

В нашей стране в 80-90 гг. в качестве отражателей обычно использовался кварц легированный желтый (КЛЖ) в виде цилиндра с отверстиями для лазерного стержня и лампы, покрытого металлическим отражающим слоем.

Обычные отражатели не всегда позволяют достичь оптимальной мощности лазерного излучения. Для улучшения характеристик Nd:YAG-лазеров был разработан новый оптический керамический материал «Laserceramics» (рис.1), базируемый на высококачественной алюминиевой окиси, который обеспечивает постоянно высокие значения коэффициентов отражения в необходимом диапазоне длин волн и отличается легкостью в обработке.

Отражатели для технологических лазеров должны выдерживать: высокие оптические энергии источника накачки; продолжительный непрерывный режим работы; химические реакции из-за прямого контакта между лазерным стержнем, отражателем, источником накачки и веществом хладагента; быстрые температурные колебания, которые происходят в импульсных лазерах.

Керамические диффузные отражатели имеют следующие преимущества перед металлическими зеркальными отражателями:

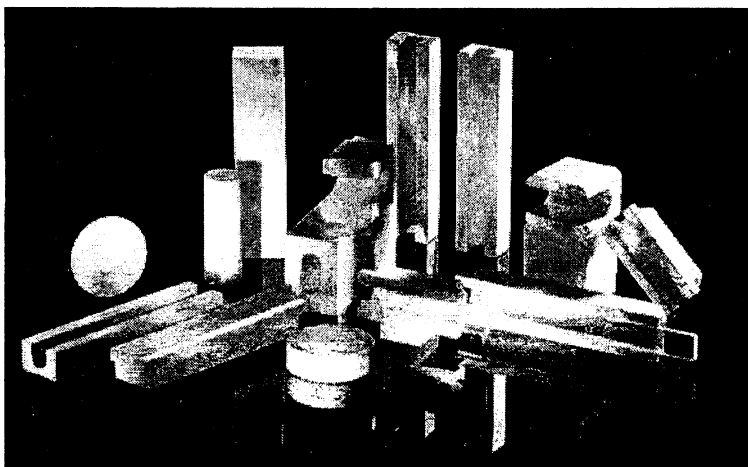


Рис.1. Конструкции деталей из керамического материала «Laserceramics»

♦ Увеличенная эффективность накачки.

Металлические зеркальные отражатели сосредотачивают свет от импульсной лампы на активной среде. Но любой непоглощенный свет возвратится к импульсной лампе и будет поглощен ею. Кроме того, небольшая часть светового потока будет поглощена самим отражателем.

В случае диффузных отражателей, только очень небольшая часть света возвратится к лампе. Большинство непоглощенного света в итоге поглотится активной средой, пройдя через неё несколько раз. Это увеличивает эффективность накачки и общую эффективность лазера.

♦ Долгосрочная стабильность.

Для большинства лазеров требуется использование активно-го охлаждения стержней и отражателей для их терморегулирования при напряженных режимах работы. Это обычно достигают прямым контактом с охлаждающей средой. Диффузные отражатели, сделанные из чистых керамических материалов химически нейтральны и, в отличие от металлических покрытий, не подвергаются коррозии.

#### ◆ Подавление паразитных колебаний.

Паразитные колебания часто возникают в лазерных средах при достижении максимального значения энергии накачки, которая с течением времени может накапливаться. Это происходит, например, в случае Nd:YAG-стержня, когда они используются как генераторы с пассивным затвором или как усилители. В отличие от металлических зеркальных отражателей, диффузные отражатели формируют ламбертово распределение интенсивности отраженного света, при котором вероятность возникновения паразитных колебаний уменьшается.

#### ◆ Сбалансированная накачка.

Металлические зеркальные отражатели сконструированы для получения максимальной эффективности накачки, но зачастую их конструкция приводит к неравномерному распределению интенсивности накачки. Это, в свою очередь, может приводить к возникновению тепловой линзы или развитию горячих точек в лазерном стержне.

Диффузные керамические отражатели позволяют получить сбалансированное, симметричное распределение интенсивности накачки в активной среде, предотвращая эти тепловые эффекты в лазерном стержне.

Алюминиево-окисная керамика до недавнего времени использовалась только в технических целях как устойчивый, твердый и химически инертный конструкционный материал. Такая керамика не имеет достаточно высокой степени чистоты для использования в качестве оптических материалов. Исследования показали, что она содержит не только остаточные примеси натрия, магния, кремния, кальция и цинковых окисей, но также и окиси железа.

Объединенная научно-исследовательская работа компаний «GMS Frank Optic Products GmbH» и «IKTS» решила эту проблему. Компании получили оксид алюминия с превосходными свойствами. Он на 99 % чист и не содержит никаких тяжелых металлов. Кроме того, коэффициент отражения оптической высококачественной керамики остается фактически постоянным по широкому диапазону длин волн от 300 до 1400 нм и превышает 99 %.

Таким образом, керамические отражатели могут преобразовывать на 30 % больше входной энергии накачки, чем обыч-

ные отражатели, которые состоят из тонких металлических слоев.

Квантрон с керамическими отражателями включает в себя две сферических впадины, окружающие источник накачки с одной стороны и лазерный стержень с другой (Рис.2). Стеклопластина между ними служит как ультрафиолетовый фильтр. Впадины в металле содержат каналы для циркуляции хладагента.

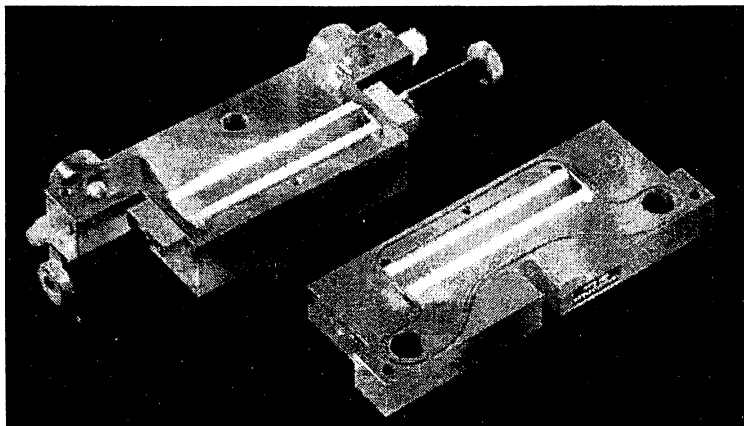


Рис.2. Конструкция лазерного квантрона с использованием керамического материала «Laserceramics» в качестве отражателя

Отражатели из материала «Laserceramics» ® имеют следующие основные технические характеристики:

- Керамика: «laserceramics» ®  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 99,90\%$
- Пористость: 6-7%
- Прочность при температуре: максимум 1800 °C
- Прочность:  $> 160 \text{ МН} / \text{кв. м.}$
- Прочность на сжатие:  $> 690 \text{ МН} / \text{кв. м.}$
- Теплопроводность: 15,9 Вт/м/К
- Отражение:  $R > 98\%$

Высокопроизводительные отражатели компании «GMS Frank Optic Products GmbH» являются весьма перспективными для твердотельных лазеров, в частности, для Nd:YAG-лазера. Поскольку они снабжены специальными стеклянными пластинами, которые фильтруют ультрафиолетовое излучение.