

УДК 535.14

УЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ШТАРКОВСКИ РАСЩЕПЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УРОВНЕЙ ИОНА ИТТЕРБИЯ В КРИСТАЛЛЕ YLF В ПРОЦЕССЕ ОПТИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Косинский И.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Иванов А.В.
(Университет ИТМО)

В данной работе рассматривается лазерное охлаждение кристалла иттрий-литиевого фторида (YLF), легированного ионами иттербия (Yb^{3+}). Охлаждение образца осуществляется за счет антистоксовой флуоресценции, реализуемой в процессе оптической накачки ионов Yb^{3+} . В работе уточняется ранее предложенная модель оптического охлаждения, и учитывается влияние изменения штарковски расщепленных электронных уровней иона Yb^{3+} на результат оптического охлаждения. Показано, что учет температурной зависимости штарковски расщепленных электронных подуровней улучшает характеристики охлаждения и предсказывает более низкую минимально достижимую температуру.

Введение. Оптическое охлаждение твердотельных структур имеет определенные преимущества перед другими типами охлаждения – термоэлектрическими, механическими и жидкостными. Оптические охладители компактны в отличие от систем с жидким гелием, у них нет вибрации, как у механических систем, и они позволяют достичь более низкой температуры, чем элементы Пельтье. Охлаждение с помощью лазерного излучения может быть эффективно использовано в случае малых твердотельных объектов, применяемых в современной микроэлектронике, нанофотонике и оптомеханике, где большое значение имеет возможность оптического охлаждения полупроводниковых наноструктур. Кроме того, методы оптического охлаждения могут эффективно применяться для уменьшения тепловой нагрузки на активный элемент твердотельного лазера. В этом случае лазерные системы могут быть более компактными, портативными и мощными, чем системы с внешними элементами охлаждения.

Первые успешные эксперименты по оптическому охлаждению легированных редкоземельными элементами твердотельных систем были реализованы более 25 лет назад. С тех пор получены впечатляющие результаты по глубине охлаждения. На сегодняшний день преодолён диапазон криогенных температур, и стали ясными пути достижения температуры жидкого азота. Стоит отметить, что описываемые рекордные результаты относятся к одной используемой для охлаждения системе – Yb^{3+} : YLF, охлаждение же других легированных систем пока не является столь же эффективным. Несмотря на успешные экспериментальные результаты по оптическому охлаждению, используемые теоретические модели остаются во многом примитивными и не позволяют выполнять оценки параметров охлаждения с достаточной точностью. Кроме того, адекватная модель процесса охлаждения позволяет прогнозировать результаты охлаждения для новых кристаллических систем, легированных редкоземельными ионами.

Основная часть. Настоящая работа является уточнением теоретической модели оптического охлаждения легированных кристаллических систем, представленной авторами ранее. Уточнение модели проведено в двух важных для определения минимально достижимой температуры аспектах. Первый аспект связан с необходимостью учета температурной зависимости штарковски расщепленных электронных подуровней основного и возбужденного уровней иона иттербия. Эта необходимость обусловлена важной ролью энергетических расстояний между подуровнями в процессах охлаждения и нагрева кристаллической матрицы. Второй аспект связан с уточнением вероятностей процессов спонтанной релаксации с электронных подуровней возбужденного состояния иона иттербия.

Теоретический расчет производился с помощью формализма матрицы плотности, который позволяет определить населенность штарковских подуровней иттербия в процессе лазерной накачки. Далее определялись мощности нагрева и охлаждения в двух случаях: при постоянных значениях штарковски расщепленных электронных уровней; и при учете зависимости от температуры образца. В конечном итоге выполнены численные оценки результирующей тепловой нагрузки на кристаллическую матрицу в рассматриваемых случаях. Уточнение модели охлаждения в указанных выше аспектах приводит к улучшению характеристик охлаждения и уменьшению значения минимально достижимой температуры.

Выводы. Проведено исследование временной зависимости рабочей температуры кристалла Yb:YLF с учетом температурной зависимости штарковски расщепленных электронных уровней иона иттербия в процессе оптического охлаждения. Результаты сравнивались с вычислениями при постоянных значениях энергий штарковски расщепленных подуровней. Продемонстрирована важность учета температурной зависимости подуровней для прогнозирования экспериментальных результатов оптического охлаждения различных легированных кристаллических систем.