

УДК 538.953

ВНУТРЕННЕЕ ОПТИЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ КВАНТОВОЙ ТОЧКИ CdSe МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ШТАРКОВСКОГО СДВИГА

Гапелюк А.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – доцент, кандидат физико-математических наук Иванов А.В.
(Университет ИТМО)

Введение.

Исследование методов оптического охлаждения твёрдых тел приобретают всё большую актуальность в последнее время. Действительно, компактность и отсутствие вибраций могут стать существенными преимуществами в оптоэлектронных системах, требующих терморегуляции. Например, при необходимости охладить наночастицу левитирующую в вакууме в поле радиочастотной ловушки или оптического пинцета. Такая оптомеханическая система может использоваться для сверхчувствительного измерения малых масс и слабых сил [1]. В настоящее время минимальная трансляционная температура левитирующей наночастицы в указанной оптомеханической системе достигает значения одного милликельвина [2]. Однако дальнейшему трансляционному охлаждению препятствует испускание ИК фотонов вследствие наличия у частицы внутренней температуры. Таким образом, для достижения более низких трансляционных температур появляется новая задача, связанная с необходимостью внутреннего охлаждения наночастицы. В то время как трансляционное охлаждение твердотельных наночастиц может реализовываться различными методами (охлаждение с обратной связью, резонаторное охлаждение), методы внутреннего охлаждения нано-объектов находятся еще в стадии исследования.

Основная часть.

В данной работе проводилось математическое моделирование оптического охлаждения квантовой точки CdSe диаметром несколько нанометров методом динамического шарковского сдвига. В ходе этого процесса происходит расщепление энергетических уровней квазичастицы и возникают осцилляции Раби электронной плотности под воздействием электромагнитного поля. Реализация данного метода приводит к формированию фотоиндуцированных вибранных состояний за счёт изменения энергетического спектра не только квазичастиц, но и колебательных состояний решётки и неадиабатического экситон-колебательного взаимодействия. Таким образом, возможна контролируемая передача энергии в электрон-фонон-фотонной системе посредством изменений параметров электромагнитной волны [3].

Сам процесс охлаждения можно представить в виде цикла, состоящего из двух одинаковых по времени этапов. В ходе первого этапа на систему накладывается электромагнитный импульс с частотой немного меньшей, чем резонансная частота межзонных однофотонных переходов. При высоких интенсивностях излучения импульса, время которого сопоставимо со временем жизни квазичастиц в зонах, энергетические уровни расщепляются и переходы становятся резонансными. Во втором этапе излучение отключается, из-за чего зоны переходят в начальное нерасщеплённое состояние и происходит излучательная рекомбинация квазичастиц, энергия испускаемых фотонов которой больше, чем энергия поглощённых для каждого экситона. Таким образом, происходит перенос энергии из фононного резервуара. Помимо процессов охлаждения в квантовой точке присутствуют процессы, влияющие на нагрев, которые необходимо учитывать при моделировании: двухфотонные и межподзонные переходы, оже-рекомбинация, а также поглощение энергии примесями и тепловая нагрузка среды.

Для построения временных зависимостей температуры квантовой точки учитывается вклад каждого из описанных выше процессов. При подборе определённых параметров электромагнитной волны и квантовой точки можно добиться внутреннего охлаждения системы. При моделировании процесса охлаждения учитывалась зависимость некоторых параметров частицы от температуры (ширина запрещённой зоны, коэффициент оже-

рекомбинации, скорость электрон-фононного взаимодействия) и корректировалась частота и интенсивность излучения для каждого цикла охлаждения.

Выводы.

В работе выполнено моделирование внутреннего оптического охлаждения квантовой точки CdSe методом динамического штарковского сдвига, определены параметры действующего электромагнитного излучения и квантовой точки, способствующие охлаждению, а также получены зависимости внутренней температуры квантовой точки от времени, демонстрирующие охлаждение.

Список использованных источников:

1. Teufel J. D. et al. Dynamical backaction of microwave fields on a nanomechanical oscillator //Physical review letters. – 2008. – Т. 101. – №. 19. – С. 197203.
2. Offenberg D. et al. Translational cooling and storage of protonated proteins in an ion trap at subkelvin temperatures //Physical Review A. – 2008. – Т. 78. – №. 6. – С. 061401.
3. Ivanov A. Energy transfer controlled by dynamical Stark shift in two-level dissipative systems //JOSA B. – 2018. – Т. 35. – №. 1. – С. 20-29.