Пикосекундная кинетика взаимодействия фотовозбужденных носителей со спиновой подсистемой ионов Mn в II-VI полумангнитных полупроводниковых гетероструктурах

Максимов А.А., Филатов Е.В., Тартаковский И.И.

Институт физики твердого тела РАН, 142432, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 2

DOI 10.34077/Semicond2019-297

При оптических исследованиях полумангнитных II-VI полупроводников (ПМП) с магнитными ионами марганца возникает вопрос о способах передачи энергии от фотовозбужденных носителей к магнитной подсистеме. Существует два пути для такой передачи энергии. Прямой путь – через обменное взаимодействие горячих носителей с локализованными спинами ионов Mn, характеризующее короткими временами элементарных актов этого взаимодействия τ_{e-Mn} , лежащими в пикосекундной области. Непрямой путь – через испускание неравновесных фононов при релаксации носителей с также короткими временами τ_{e-L} и последующим процессом спин-решеточной релаксации с обычно более длинными временами τ_{SLR} . Экспериментально определить разную эффективность этих процессов, определяемых отношением времен τ_{e-Mn} и τ_{e-L} , непросто. Тщательный анализ показывает, что даже наблюдение в более ранних работах при возбуждении длинными оптическими импульсами времен нагрева марганцевой подсистемы, совпадающих с τ_{SLR} , не свидетельствует однозначно в пользу доминирования непрямого пути. Оптическое возбуждение ПМП мощными импульсами лазеров наносекундной длительности показал, что в квантовых ямах на основе (Zn,Mn)Se всегда доминируют процессы прямой передачи энергии от фотовозбужденных носителей в магнитную систему.

В докладе делается обзор различных экспериментальных попыток определения характерных времен прямого нагрева фотовозбужденными носителями марганцевой подсистемы ПМП квантовых ям и сделан вывод о том, что для определения истинного времени взаимодействия носителей с магнитными ионами необходимо исследовать ПМП сверхрешетки второго типа на основе (Zn,Mn)Se/(Be,Mn)Te. Были выполнены измерения с высоким временным разрешением ~ 2 пс кинетики интенсивности и спектрального поведения линии пространственно прямого оптического перехода в сверхрешетках второго типа $Zn_{0.99}Mn_{0.01}Se/Be_{0.93}Mn_{0.07}Te$ с ширинами слоев 10/5 нм. Измерения проводились в различных внешних магнитных полях и при высоких уровнях возбуждения фемтосекундными лазерными импульсами при частоте их следования около 3 кГц. Проводилось тщательное сравнение спектров, полученных при одинаковых условиях возбуждения в нулевом и отличном от нуля внешнем магнитном поле. Время жизни фотовозбужденных в начальный момент времени дырок, определенное по кинетике интенсивности люминесценции пространственно прямого оптического перехода, составляло ~ 40 пс. Из рисунка видно, что за времена τ значительно меньшие этой величины происходит уменьшение Зеемановского сдвига полосы люминесценции в магнитном поле, связанное с нагревом (на величину ~ 0.5 К) магнитной подсистемы. Эти изменения могут быть описаны экспоненциальной зависимостью от времени (сплошные кривые). Таким образом, впервые были выполнены прямые измерения времени пикосекундной кинетики процесса передачи энергии и спина фотовозбужденных носителей за счет обменного взаимодействия с локализованными спинами ионов Mn^{2+} в полумангнитных полупроводниковых гетероструктурах на основе (Zn,Mn)Se.

Работа частично поддержана проектом РФФИ № 17-02-00959.