

ИССЛЕДОВАНИЕ СПИНОВЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР InGaAs/GaAs С ИНЖЕКТОРОМ InFeSb

М.В. Ведь, М.В. Дорохин, В.П. Лесников, П.Б. Дёмина,
А.В. Здравейцев, Ю.А. Данилов, А.В. Кудрин

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия
E-mail: mikhail28ved@gmail.com

Разбавленные магнитные полупроводники (РМП) – полупроводниковые ферромагнитные материалы, легированные атомами переходных элементов – считаются перспективными как элементы приборов спинтроники, так как характеризуются высокой степенью спиновой поляризации носителей заряда (это основная характеристика приборов спинтроники), а также относительно простой технологией встраивания в полупроводниковые структуры [1]. Недостатком разбавленных магнитных полупроводников является низкое значение температуры Кюри. Данная работа посвящена созданию и исследованию спинового светоизлучающего диода (ССИД) на основе структур с квантовой ямой InGaAs/GaAs и ферромагнитным инжектором (In,Fe)Sb, так как ранее в [2] сообщалось, что температура Кюри для этого РМП превышает 300 К. Данная схема позволяет осуществить инжекцию спин-поляризованных электронов из (In,Fe)Sb в область КЯ.

Исследуемые образцы были выращены на подложке n-GaAs комбинированным методом, совмещающим МОС-гидридную эпитаксию (МОСГЭ) и импульсное лазерное осаждение. На первом этапе, методом МОСГЭ при 600 °С выращивались следующие слои: буферный слой n-GaAs, КЯ In_{0.2}Ga_{0.8}As, 90 нм слой нелегированного GaAs, δ-слой углерода и 30 нм покровный слой нелегированного GaAs. На втором этапе был выращен слой In_{0.4}Fe_{0.6}Sb толщиной 40 нм при температуре 250 °С методом лазерного распыления мишеней InSb и Fe. На последнем этапе формирования ССИД были нанесены Au контакты методом термического испарения в вакууме, изготовлены меза-структуры диаметром 500 мкм методами фотолитографии и химического травления и сформирован базовый омический контакт к подложке методом искрового вжигания Sn фольги.

Для исследований электролюминесценции на образцы подавалось прямое смещение (на Au контакт подавался положительный потенциал по отношению к потенциалу подложки). Возбуждаемое ЭЛ излучение регистрировалось со стороны подложки. При внесении структур в магнитное поле, направленное перпендикулярно поверхности, излучение

становится частично циркулярно-поляризованным. Степень циркулярной поляризации рассчитывается по формуле:

$$P_{EL} = \frac{I(\sigma^+) - I(\sigma^-)}{I(\sigma^+) + I(\sigma^-)} \quad (1)$$

где P_{EL} — степень циркулярной поляризации электролюминесценции; $I(\sigma^+)$, $I(\sigma^-)$ — интенсивности компонент ЭЛ, поляризованных по левому и по правому кругу соответственно.

График магнитополевой зависимости степени циркулярной поляризации представлен на рисунке 1.

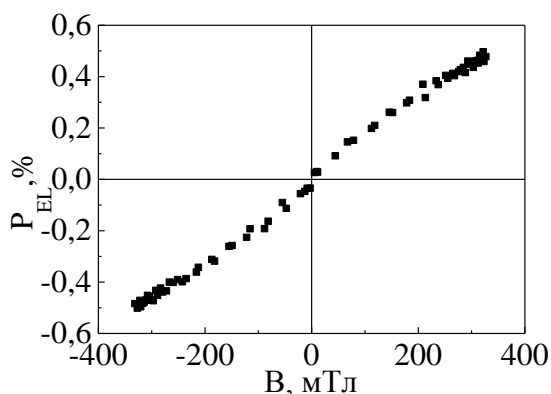


Рис. 1. Магнитополевая зависимость P_{EL} , ток 4 мА, температура 150 К

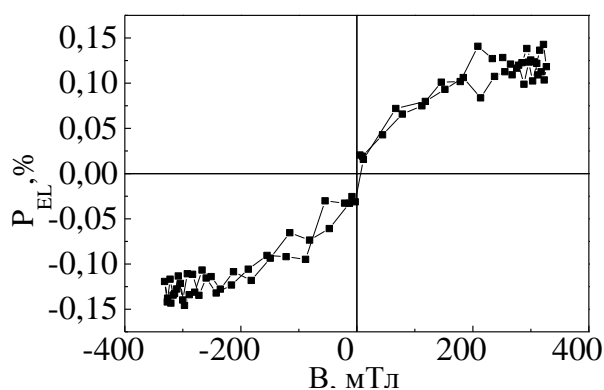


Рис. 2. Магнитополевая зависимость P_{EL} за вычетом линейной части, ток 4 мА, температура 150 К

P_{EL} может быть представлена в виде суммы двух составляющих, первая из которых связана с ферромагнетизмом структуры, а вторая – с зеемановским расщеплением уровней. Магнитополевая зависимость P_{EL} за вычетом линейной части представлена на рисунке 2. Для увеличения значений P_{EL} , а также для получения ЭЛ при более высоких температурах необходим подбор оптимальных параметров структур, а также технологических параметров выращивания (In,Fe)Sb.

Таким образом, в данной работе получена спиновая инжекция носителей заряда из РМП (In,Fe)Sb в полупроводниковую структуру на основе GaAs с дальнейшей рекомбинацией и испусканием ЭЛ излучения в области КЯ.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России (проект № 8.1751.2017/ПЧ), при поддержке РФФИ (гранты №15-02-07824_a, 16-07-01102_a), гранта президента Российской Федерации (МК-8221.2016.2).

1. Holub M., Bhattacharya P.// J. Phys. D: Appl. Phys. 2007. V.40. P.R179–R203.
2. N.T. Tu et al.// Phys.Rev. B. 2015. V.92. P.144403.