Оптический детектор спина свободных электронов с пространственным разрешением на основе полупроводниковых гетероструктур

В.А. Голяшов^{1,2}, Д.А. Кустов¹, В.С. Русецкий^{2,3}, Т.С. Шамирзаев^{1,2}, А.В. Миронов², А.Ю. Демин², В.В. Аксенов², О.Е. Терещенко^{1,2}

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова 2

³ ЗАО "ЭКРАН-ФЭП", 630060, Новосибирск, ул. Зеленая горка 1.

тел: +7 (991) 506-05-06, эл. почта: vladimirgolyashov@gmail.com

DOI 10.34077/RCSP2021-47

С развитием метода фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением (ФЭСУР, ARPES) и появлением систем с необычными электронными свойствами, помимо непосредственного изучения электронной структуры этих объектов, интерес стала представлять и их спиновая структура. Вследствие этого актуальной задачей стало эффективное детектирование спиновой поляризации фотоэмитированных электронов. На данный момент наибольшее распространение получили два типа спин-детекторов – детекторы Мотта и так называемые VLEED детекторы. Обладая сравнимой конечной эффективностью, данные типы детекторов имеют общий недостаток – они сугубо одноканальные, и позволяют измерять только среднюю спиновую поляризацию электронного пучка в целом, что существенно ограничивает их эффективность применительно к методу ARPES.

В данной работе обсуждается возможность создания пространственно-чувствительного спин-детектора на основе гибридной структуры - полупроводниковой гетероструктуры, на поверхность

которой осажден тонкий ферромагнитный (ФМ) слой, позволяющей регистрировать пространственное распределение и поляризацию возникающей при инжекции в нее поляризованных по спину электронов катодолуминесценции (КЛ) [1, 2]. Предлагаемый спин-детектор позволяет измерять три компоненты проекции спина: две компоненты спина в плоскости поверхности, используя тонкий ФМ слой в качестве спин-фильтра, и нормальную к его поверхности компоненту, измеряя циркулярную поляризацию КЛ.

Для демонстрации работы такого твердотельного детектора электронов были изготовлены вакуумные диоды, состоящие из близко расположенных фотокатода p -GaAs(Cs,O) с отрицательным эффективным электронным сродством (источник поляризованных по спину электронов) и анода-мишени на основе гетероструктуры AlGaAs с квантовыми ямами GaAs, также активированной до состояния ОЭС. Была изучена инжекция поляризованных по спину электронов с кинетическими энергиями в диапазоне 0.5–3.0 эВ с пространственным разрешением (рис. 1). Определена эффективность созданного прототипа спин-детектора в зависимости от кинетической энергии детектируемых электронов и температуры мишени. Показано, что зависимость степени циркулярной поляризации КЛ от кинетической энергии инжектируемых электронов и её максимальное значение определяются релаксацией спина в “объеме” полупроводниковой гетероструктуры. Обсуждаются возможные пути увеличения эффективности предложенного спин-детектора и её предельная величина.

Рис. 1. (a) Изображение КЛ, возникающей при инжекции двух пучков электронов с противоположными направлениями поляризации по спину в анодную гетероструктуру с КЯ GaAs в AlGaAs, распределения интенсивности (b) и циркулярной поляризации (c) КЛ вдоль указанных линий ($E = 1$ эВ, $T = 300$ К).

Литература

- [1] V.A. Golyashov, et. al. // Ultramicroscopy 2020, 218, 113076.
- [2] O. E. Tereshchenko, et. al. // J. Synchrotron Rad. 2021, v. 28, pp. 864–875.