Магнитоиндуцированные фотогальванические эффекты в напряженных пленках HgTe

Будкин Г.В.¹, Candussio S.², Otteneder M.², Козлов Д.А.³, Дмитриев И.А.^{1,2}, Бельков В.В.²,
Тарасенко С.А.¹, Квон З.Д.³, Михайлов Н.Н.³, Дворецкий С.А.³, Ганичев С.Д.²

¹ ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Политехническая ул., 26, 194021, Санкт-Петербург

² University of Regensburg, 93040, Regensburg, Germany

³ Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова, 630090, Новосибирск

DOI 10.34077/Semicond2019-482

Обнаружены и исследованы экспериментально и теоретически фотогальванические эффекты на поверхностных состояниях трехмерных топологических изоляторов на основе пленок HgTe. Продemonстрировано, что во внешнем магнитном поле возбуждение поверхностных носителей заряда терагерцовым излучением приводит к генерации фототока.

Фотогальванические эффекты изучены в (013)-ориентированных пленках HgTe толщиной 80 нм и 200 нм, выращенных с помощью молекулярно-пучковой эпитаксии. Напряженные пленки на основе HgTe обладают инвертированной зонной структурой и являются трехмерными топологическими изоляторами с проводящими поверхностными состояниями. Поверхностные состояния на каждой из границ пленки не вырождены по спину и характеризуются жесткой связью между ориентацией спина и направлением импульса. Низкая симметрия (013)-ориентированных пленок позволила изучать фотогальванические эффекты в геометрии нормального падения излучения и нормального магнитного поля. В экспериментальных зависимостях фототока от магнитного поля наблюдаются два близко расположенных резонанса, которые соответствуют циклотронным резонансам на двух поверхностях пленки. Циклотронные массы, равные приблизительно $0.03 \cdot m_0$ и $0.04 \cdot m_0$, полученные из положений резонансов, хорошо согласуются со значениями, рассчитанными в рамках многозонной **k-p**-модели. Показано, что хотя толщина 200 нм пленок немного больше, чем предполагаемая критическая толщина релаксации напряженного кристалла, в них также присутствуют поверхностные состояния с характеристиками, подобными топологическим состояниям напряженных 80 нм пленок.

Разработана теория поверхностного фотогальванического эффекта, обусловленного генерацией тока в процессе энергетической релаксации фотовозбужденных носителей на фононах. Фототок связан с асимметрией электрон-фононного рассеяния в импульсном пространстве, индуцированной приложенным магнитным полем. В изучаемых толстых пленках толщина проводящих каналов на обеих поверхностях пленки значительно меньше толщины пленки. Таким образом, связь между поверхностными состояниями пренебрежимо мала, что позволяет рассматривать их независимо. В условиях не прямой оптической накачки электроны поглощают энергию электромагнитного поля, нагреваются и передают ее решетке за счет испускания фононов. В присутствии магнитного поля такой процесс релаксации энергии поверхностных носителей заряда приводит к возникновению тока, микроскопически это обусловлено линейной по магнитному полю добавкой в матричный элемент электрон-фононного взаимодействия. В условиях, когда частота излучения совпадает с циклотронной частотой, поглощение излучения поверхностными носителями заряда резонансно усиливается, что, в свою очередь, и приводит к многократному увеличению фототока. Из-за неэквивалентности нижней и верхней границы пленки HgTe резонансы в зависимости фототока возникают при двух разных магнитных полях.

[1] K.-M. Dantscher, D. A. Kozlov, P. Olbrich, et al, *Phys. Rev. B* **92**, 165314 (2015)

[2] S. Candussio, G.V. Budkin, M. Otteneder et al., *arXiv:1902.02972*