

УДК 537.9

Экситонный спиновый эффект Холла в дугообразно растянутом WSe₂

Шубник А.А. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, Шелых И.А.
Научный институт, Университет Исландии, ИТМО)

Введение. Эффектом Холла (Hall effect) называется явление пространственного разделения частиц с разными зарядами или спинами. Реализация спинового эффекта Холла дихалькогенидов переходных металлов (TMDs, transition metal dichalcogenides) SHE может наблюдаться [1] при умеренных температурах (100 К [2, 3] в 1T'-WTe₂). Однако, для разработки реальных устройств, основанных на данном эффекте, необходимо повысить рабочую температуру до 300 К.

TMDs характеризуются прямой запрещенной зоной и большими эффективными массами и энергиями связи (порядка 300 мэВ) экситонов, что позволяет наблюдать разнообразные экситонные эффекты даже при комнатных температурах [4-6]. Однако для внутрислоинных экситонов SHE запрещен из-за противоположной направленности силы Лоренца, действующей на электрон и дырку. В данной работе мы предлагаем новую реализацию спинового эффекта Холла, которая позволяет наблюдать Холловские углы превышающие 30° при комнатной температуре.

Основная часть. Мы выполнили строгий вывод дрефт-диффузионного уравнения, описывающего динамику междолинных экситонов, из полуклассического транспортного уравнения Больцмана.

Модификация зонной структуры при неоднородном растяжении может быть представлена в виде градиента эффективного скалярного потенциала и эффективного псевдомагнитного поля. Градиент потенциала вызывает экситонный ток, а псевдомагнитное поле приведёт к возникновению спинового тока.

Спиновый ток возникнет из-за того, в up-KK'- и down-K'K-экситонах электрон и дырка находятся в разных долинах, что приводит к разным знакам действующего на них эффективного магнитного поля [7, 8]. Таким образом, сила Лоренца будет одинаковой для всех частей экситона, что приводит к возникновению эффекта Холла.

Для описания динамики экситонного газа мы численно решали полученное дрефт-диффузионное уравнение [9].

Выводы. В данной работе мы предложили новый механизм спинового эффекта Холла. Предложенный эффект может быть реализован в дугообразно растянутом WSe₂ на экспериментально достижимых временных и пространственных масштабах. При этом становится возможной реализация гигантских холловских углов при комнатной температуре.

Список использованных источников:

1. Qian X. [et al.] Quantum spin Hall effect in two-dimensional transition metal dichalcogenides //Science. – 2014. – Т. 346. – №. 6215. – С. 1344-1347.
2. Shi Y. [et al.] Imaging quantum spin Hall edges in monolayer WTe₂ //Science advances. – 2019. – Т. 5. – №. 2. – С. eaat8799.
3. Garcia J. H. [et al.] Canted persistent spin texture and quantum spin Hall effect in WTe₂ //Physical Review Letters. – 2020. – Т. 125. – №. 25. – С. 256603.
4. Mak K. F. [et al.] Tightly bound trions in monolayer MoS₂ //Nature materials. – 2013. – Т. 12. – №. 3. – С. 207-211.
5. Ross J. S. [et al.] Electrical control of neutral and charged excitons in a monolayer semiconductor //Nature communications. – 2013. – Т. 4. – №. 1. – С. 1474.

6. Ugeda M. M. [et al.] Giant bandgap renormalization and excitonic effects in a monolayer transition metal dichalcogenide semiconductor //Nature materials. – 2014. – T. 13. – №. 12. – C. 1091-1095.
7. Rostami H. [et al.] Piezoelectricity and valley chern number in inhomogeneous hexagonal 2D crystals //npj 2D Materials and Applications. – 2018. – T. 2. – №. 1. – C. 15.
8. Shahnazaryan V., Rostami H. Nonlinear exciton drift in piezoelectric two-dimensional materials //Physical Review B. – 2021. – T. 104. – №. 8. – C. 085405.
9. Jüngerl A. Transport equations for semiconductors. – Springer, 2009. – T. 773.