

Твистроника структур из 2D-атомных слоев: новые эффекты, современные эксперименты и перспективы приложений

Чернозатонский Л.А.¹, Данилин В.А.¹

chernol-43@mail.ru

¹ ИБХФ РАН им. Н.М. Эмануэля, Москва, Россия

Слабые молекулярные силы между атомными слоями позволяют изготавливать структуры с произвольным углом θ их вращения один относительно другого, обеспечивая контроль над электронным поведением таких материалов [1,2], причем каждый слой сохраняет свои внутренние свойства с минимальным их взаимодействием. Именно оно имеет решающее значение для определения их характеристик, что сформировало направление «твистроника». Прецизионное регулирование угла свертки изменяет межслойную связь за счет перераспределения и переноса заряда, что приводит к гибридизации зон электронного спектра. В таких муаровых структурах привлекают внимание необычные эффекты локализованных состояний и модуляции зонных структур, появление нетрадиционной сверхпроводимости и топологических проводящих каналов в сильно коррелированных режимах [3,4]. В докладе будут рассмотрены последние достижения в твистронике:

1. Муары из двух графенов – их сравнение с AA и AB несвернутыми биграфенами (малые 1-3° углы – большие сверхрешетки), особенности их структуры и электронных спектров, наличие псевдо-плоских минизон. Сильные корреляционные эффекты позволяют разрабатывать переключатели и транзисторы с управляемой проводимостью.
2. Муары свернутых графенов при больших углах $10^\circ < \theta < 30^\circ$ [5] – уменьшение периода муара с увеличением плотности суперячеек, квазикристаллы при $\theta = 30^\circ$ – структуры и основные свойства (гиганские скачки мозаики квазикристалла [6] и др.). Атомная адсорбция на биграфенах позволяет создавать муаровые полупроводниковые псевдо-диаманты, что важно для пьезоэлектрических и электронных устройств [7,8].
3. Твистроника на двуатомных решетках: BN и BN/G, MoS₂/G и TMD, сегнетоэлектрики с уникальными свойствами [9-11], новые приложения для наноэлектроники, например, запоминающие устройства и оптоэлектронные логические элементы с использованием ферроэлектрических полевых транзисторов Ван-дер-Ваальса [12].

Отметим новые твистовые структуры из нанолент, квантовых точек, а также их графеноподобных 2D-материалов (силицен, германен и др.) и область оптоэлектронных, экситонных и магнитных эффектов в муаровых структурах и их применений.

Ссылки

1. K. S. Novoselov et al. *Science* (New York, N.Y.) vol. 353, 6298 (2016): aac9439.
2. Jichuang Shen et al (2026). *Int. J. Extrem. Manuf.* **8** 032007.
3. F. Escudero et al. (2026) 10.48550/arXiv.2602.02692.
4. L. Balents et al. *Nat. Phys.* **16**, 725–733 (2020).
5. X. Zhang et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2024**, 16, 50, 68724–68748.
6. L.A. Chernozatonskii et al. *Physica E Low Dimens. Syst. Nanostruct.* (2026) in press.
7. L.A. Chernozatonskii et al. *Appl. Surf. Sci.* (2022) **572**, 1513626.
8. Q. Yu et al. *Comp. Mat. Sci.* (2025) **248**, 113623.
9. J. Edwards et al. *Small Structures* (2026) **7**, 202500776.
10. X. Wang et al. *Nature Communications* (2025) **16**, 178.
11. A. Aditya et al. *ACS Nano* (2026) **20**, 4702.
12. Z. Chen et al. *Photonics Research* (2026) **14**, 770.