

ФОТОДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ $\text{TiS}_2/\text{SiNWS}$

А.Д. Разорвин, И. Н. Козлова, В. С. Павельев, Нишант Трипати
«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: двумерные материалы, гетеропереход, дисульфид титана, структура, фотодетектор.

С развитием оптоэлектронных технологий фотодетекторы стали неотъемлемой частью современных систем. Традиционные полупроводниковые материалы, лежащие в их основе, постепенно достигают пределов своих возможностей, что стимулирует поиск новых решений.

Двумерные (2D) материалы привлекают значительное внимание в создании фотодетекторов благодаря уникальным свойствам, обусловленным их ультратонкой структурой и сильным взаимодействием со светом. Среди наиболее перспективных для этой цели материалов выделяют дисульфид молибдена (MoS_2), дисульфид вольфрама (WS_2) и дисульфид титана (TiS_2) [1].

Особый интерес представляет формирование гетеропереходов между материалами с различным типом проводимости. В данной работе исследуется гетероструктура, состоящая из дисульфида титана n-типа (TiS_2) и кремниевых нанопроволок p-типа (SiNWs). При контакте TiS_2 и SiNWs на их границе формируется область пространственного заряда, обеспечивающая разделение носителей заряда и улучшение фотоелектрических параметров [2].

В отличие от объёмных кремниевых устройств, которые ограничены в поглощении света и чувствительности, кремниевые нанопроволоки обладают квазиодномерной структурой, высоким отношением поверхности к объёму и способностью эффективно захватывать свет [3-4]. Эти свойства делают SiNW перспективным компонентом для гетероструктур с TiS_2 , повышая эффективность поглощения и транспорта носителей.

Кристаллическая структура TiS_2 имеет ярко выраженное слоистое строение. Её основу составляет трёхатомный слой, где атом титана находится в центре и ковалентно связан с двумя плоскостями атомов серы, расположенными сверху и снизу. Такие слои S-Ti-S , складываясь в объёмный кристалл, удерживаются друг с другом за счёт слабых межслоевых ван-дер-ваальсовых взаимодействий. Именно благодаря слабости этих связей становится возможным механическое или химическое расслоение кристалла для получения ультратонких плёнок вплоть до единичных монослоёв [5].

Выбор TiS_2 обусловлен его уникальными свойствами: полуметаллическим характером с почти нулевой запрещённой зоной (0,2–

0,9 эВ в зависимости от толщины слоёв), высокой концентрацией и подвижностью носителей заряда (до 10^{20} – 10^{21} см $^{-3}$ и $\sim 7,5$ см 2 /В·с), а также широкополосным поглощением света в диапазоне от видимого до ближнего инфракрасного излучения (375–1050 нм и шире) [6].

В результате экспериментального исследования гетероструктуры TiS $_2$ /SiNWs были получены зависимости фототока от времени при длине волны 390 нм, для различных плотностей мощности падающего излучения, представленные на рисунке 1.

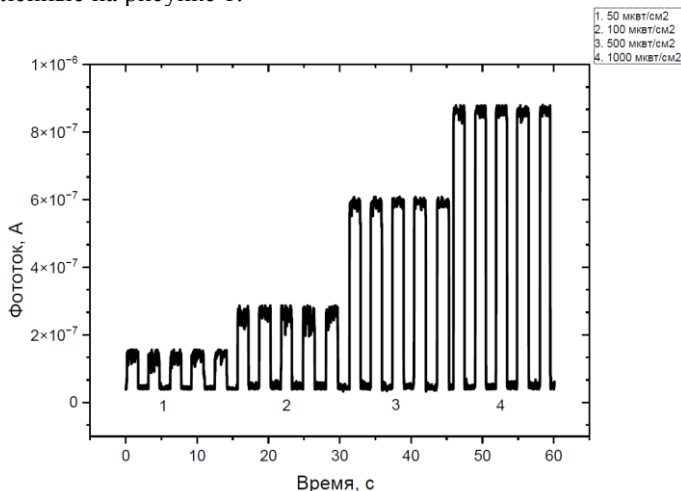


Рисунок 1 – График зависимости фототока от времени при плотности мощности падающего излучения 50 мкВт/см 2 , 100 мкВт/см 2 , 500 мкВт/см 2 и 1000 мкВт/см 2

Исходя из полученных результатов, с ростом плотности мощности падающего излучения фототок увеличивается вследствие повышения концентрации фотоносителей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00494, <https://rscf.ru/project/25-23-00494/>

Список использованных источников

1. Peng, M. One-step synthesized PbSe nanocrystal inks decorated 2D MoS $_2$ heterostructure for high stability photodetectors with photoresponse extending to near-infrared region [Текст] / M. Peng [et al.] // Journal of Materials Chemistry C. — 2022. — Т. 10, № 6. — Р. 2236–2244.
2. Zhao Y., Liang X., Liu S. et al. WS $_2$ (RE)/Si $_2$ (X)H co-doped heterojunctions for wide-spectrum and high-performance photodetections [Текст] // J. Opt. — 2024. — Т. 53. — С. 4266–4281.
3. Mihalache I., Radoi A., Pascu R., Romanitan C., Vasile E., Kusko M. Engineering Graphene Quantum Dots for Enhanced Ultraviolet and Visible Light p-Si Nanowire-Based Photodetector [Текст] // ACS Appl. Mater. Interfaces. — 2017. — Т. 9. — № 34. — С. 29234–29247.
4. Das S., Sarkar K. J., Pal B., Mondal H., Pal S., Basori R., Banerji P. SnS $_2$ /Si nanowire vertical heterostructure for high performance ultra-low power broadband photodetector with

excellent detectivity [Текст] // J. Appl. Phys. – 2021. – Т. 129. – № 5. – С. 053105.

5. Wang H., Qiu Z., Xia W., Ming C., Han Y., Cao L., Lu J., Zhang P., Zhang S., Xu H., Sun Y.-Y. Semimetal or Semiconductor: The Nature of High Intrinsic Electrical Conductivity in TiS₂ [Текст] // J. Phys. Chem. Lett. – 2019. – Т. 10. – № 22. – С. 6996-7001.

6. Talib M., Tripathi N., Sharma P., Hasan P. M. Z., Melaibari A. A., Darwesh R., ... & Mishra P. Development of ultra-sensitive broadband photodetector: A detailed study on hidden photodetection-properties of TiS₂ nanosheets [Текст] // J. Mater. Res. Technol. – 2021. – Т. 14. – С. 1243-1254.

Разорвин Антон Дмитриевич, студент гр. 6131-030401D, razorvin.ad@ssau.ru.

Козлова Ирина Николаевна, к.т.н., доцент каф. наноинженерии, kozlova.in@ssau.ru.

Павельев Владимир Сергеевич, д.ф.-м.н., доцент, зав. каф. наноинженерии, nano@ssau.ru.

Трипати Нишант, Ph.D., доцент каф. наноинженерии, tripati.n@ssau.ru.

УДК 530.145.61 621.382

РАСЧЁТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДЕ

Д.М. Федингин, И.Н. Козлова

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

Ключевые слова: гетеропереход, квантовая яма, уравнение Шрёдингера, энергетический уровень.

Исследование гетеропереходов – актуальная задача наноэлектроники ввиду их высокого технического потенциала и широкого спектра применений. Расчёт энергетических уровней в гетеропереходе позволяет создавать устройства с заданными характеристиками, повышать эффективность лазеров, светодиодов, солнечных батарей и управлять квантовыми эффектами на наноуровне.

Цель работы – исследование идеального гетероперехода и расчёт энергетических уровней при различной степени легирования. Объект исследования – гетеропереход AlAs (электронная проводимость)/GaAs (дырочная проводимость) при T=300 К. Рассмотрены четыре степени легирования: $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, 10^{18} см^{-3} , 10^{17} см^{-3} и 10^{16} см^{-3} .

Построение энергетической диаграммы идеального гетероперехода основано на «правиле электронного сродства» [1] и требует следующих данных: E_g (ширина запрещённой зоны), χ (сродство к электрону), A (термодинамическая работа выхода, определяется по формуле:

$$A = \chi + \mu, \quad (1)$$

где μ – расстояние от дна зоны проводимости до уровня Ферми.

Значения перечисленных величин для исследуемого гетероперехода представлены в таблице 1.

При соприкосновении полупроводников образуется разность потенциалов, равная модулю разности работ выхода материалов. Для её