

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Журавская Е.А., Гололобов Н.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Бычек И.В. – к. т. н., доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены три перспективных класса полупроводниковых материалов, способных сформировать элементную базу электроники: широкозонные полупроводники (SiC, GaN) для силовой и высокочастотной электроники; соединения A_3B_5 (GaAs, InP) для оптоэлектроники и СВЧ-устройств; двумерные материалы (графен, MoS_2) с уникальными свойствами, но сложностями внедрения.

Ключевые слова: широкозонные полупроводники, двумерные материалы, соединения A_3B_5 , карбид кремния, нитрид галлия, графен

Введение. На протяжении десятилетий основой микроэлектроники был кремний, но сейчас он приближается к своим физическим пределам. При нанометровых размерах транзисторов становятся существенными квантовые эффекты: токи утечки и проблемы тепловыделения. Это требует перехода к новым материалам с превосходящими свойствами [1].

Основная часть. К наиболее перспективным классам полупроводников относятся широкозонные материалы (SiC, GaN) для силовой и высокочастотной электроники; соединения A_3B_5 (GaAs, InP) для оптоэлектроники и СВЧ-устройств; двумерные материалы (графен, MoS_2) с уникальными свойствами [1].

Основное отличие широкозонных полупроводников – большая запрещённая зона, определяющая электронные свойства. Чем она шире, тем большие токи способен пропускать транзистор. У кремния ширина запрещённой зоны около 1,1 эВ, у карбида кремния – 3,2 эВ.

Карбид кремния SiC (3,2 эВ) обладает высокой термостойкостью, высоким пробивным напряжением и отличной теплопроводностью. Он широко применяется в силовой электронике для создания компактных и надёжных устройств. Основные ограничения – высокая стоимость и сложность обработки.

Нитрид галлия GaN (3,4 эВ) демонстрирует превосходные характеристики в высокочастотном диапазоне. Используется в светодиодах, лазерных диодах и компактных зарядных устройствах. Недостатки: чувствительность к электростатике и высокая цена [2]. Следующими представителями полупроводниковых материалов являются соединения типа A_3B_5 (III-V), которые характеризуются высокой подвижностью электронов и являются прямозонными, что делает их идеальными для оптоэлектронных применений.

Большая ширина запрещённой зоны и высокая подвижность электронов заставляют устройства на основе арсенида галлия GaAs быстро реагировать на электрические сигналы, что делает это соединение подходящим для усиления высокочастотных сигналов. Кроме того, этот материал показал свою эффективность при высоких температурах и хорошую устойчивость к радиационному излучению. Недостатки: хрупкость, сложность изготовления и относительно низкая теплопроводность.

По сравнению с арсенидом галлия еще более высокочастотным материалом является фосфид индия InP. Используется для создания сверхвысокочастотных транзисторов, лазерных диодов и лавинных фотодиодов, в том числе для волоконно-оптических линий связи. Основной барьер для массового применения – высокая стоимость [3].

Принципиально новый класс материалов атомарной толщины с уникальными свойствами представляют собой двумерные материалы [4]. Графен обладает исключительной

механической прочностью, высокой электропроводностью и теплопроводностью. Он перспективен для применения в гибкой электронике, сенсорах и элементах квантовых компьютеров. Фундаментальным недостатком для цифровой логики является отсутствие запрещенной зоны, что не позволяет создавать классические транзисторы с полным запирающим. Также остаются сложности с получением материала высокого качества в промышленных масштабах [5].

Дисульфид молибдена MoS_2 в отличие от графена, обладает стабильной запрещенной зоной, что делает его перспективным для создания наноразмерных транзисторов, детекторов и выпрямителей. Основная проблема – сложность получения крупногабаритных однородных пленок с контролируемыми свойствами [4].

Среди других новейших разработок полупроводниковых материалов выделяется оксид галлия Ga_2O_3 . Он обладает сверхширокой запрещенной зоной (~4,8 эВ) и потенциально может быть дешевле SiC и GaN , обеспечивая более высокие пробивные напряжения. Основная текущая проблема – низкая теплопроводность, что требует разработки эффективных методов отвода тепла [1].

Заключение. Дальнейшее развитие микроэлектроники связано со специализацией материалов под конкретные задачи. Широкозонные полупроводники займут нишу силовой и высокочастотной электроники. Соединения типа A_3B_5 останутся критически важными для оптоэлектроники и высокочастотной техники. Двумерные материалы, такие как дисульфид молибдена и оксид галлия, открывают путь к созданию устройств с принципиально новыми характеристиками. Ключевыми задачами для внедрения этих материалов являются совершенствование технологий их синтеза, управления дефектностью и создания надежных гетероструктур. Решение этих задач откроет путь к созданию энергоэффективной, высокопроизводительной и специализированной электроники будущего [1, 2].

Список литературы

1. Не кремнием единым: из каких материалов сегодня изготавливают полупроводники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hightech.fm/2022/08/06/silicon-alternatives>. – Дата доступа: 01.03.2026.
2. Широкозонные полупроводники как главный инструмент повышения энергоэффективности электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.syntezmicro.ru/uploads/files/pub/Article42-4-5.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2026.
3. Бинарные полупроводниковые соединения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.gsu.by/bitstream/123456789/5351/1/Лекция%2012.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2026.
4. Графен и его применение в электронике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2020/article/2018020517>. – Дата доступа: 01.03.2026.
5. Двумерные материалы, их свойства и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2023/03/Panchenko.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2026.

UDC 621.315.59

PROMISING SEMICONDUCTOR MATERIALS FOR MICROELECTRONICS

Zhuravskaya E.A., Gololobov N.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bychek I.V. – Cand. of Sci., associate professor of the department of ETT

Annotation. As silicon technology reaches its physical scaling limits due to quantum leakage and heat dissipation, new semiconductors are needed. This report examines three classes: wide-bandgap materials (SiC , GaN) for power electronics; III–V compounds (GaAs , InP) for optoelectronics and microwave devices; 2D materials (graphene, MoS_2) with unique but hard-to-implement properties. Material specialization and synthesis advances are crucial.

Keywords: wide-band semiconductors, two-dimensional materials, A_3B_5 compounds, silicon carbide, gallium nitride, and graphene