УДК 539.122-022.532

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В НАНОФОТОНИКЕ

Капельян С.В.[1], Решетник П.В.[1], студенты гр.418703

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроник[и]
г. Минск, Республика Беларусь

Дорошевич И.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. Нанофотоника изучает взаимодействие света с наноразмерными материалами, такими как графен, гексагональный нитрид бора (hBN) и точилинит, обладающими уникальными оптическими и тепловыми свойствами. Эти материалы используются для создания нанометровых волноводов, метаповерхностей, сенсоров и оптоэлектронных устройств. Они открывают новые возможности в медицине, информационных технологиях и энергетике. Современные исследования направлены на преодоление проблем, таких как сложность производства и интеграция с кремниевыми технологиями. Инновационные проекты способствуют развитию нанофотоники, предоставляя решения для создания высокоэффективных и компактных устройств будущего.

Ключевые слова. Нанофотоника, графен, гексагональный нитрид бора, точилинит.

Нанофотоника – это наука и технология, изучающая взаимодействие света с наноразмерными материалами и структурами. Она включает создание новых оптических устройств и систем для приложений в области информационных технологий, медицины и других. Основное внимание уделяется использованию инновационных материалов, таких как графен и перовскиты, для достижения уникальных оптических свойств и высокой эффективности устройств.

Нанофотоника активно развивается, и за последние годы было открыто множество наноматериалов. Однако в этой работе внимание уделено лишь трём ключевым материалам, которые стали известны за последние 7 лет:

1) Графен (открыт в 2004 году, но начал применяться в нанофотонике с 2020 года)

Графен представляет собой двумерную структуру, состоящую из одного слоя углеродных атомов, расположенных в виде гексагональной решетки.

Свойства:

1. Высокая проводимость: Графен обладает высокой электрической проводимостью (около 200,000 см²/(В·с) при комнатной температуре)
2. Оптическая прозрачность: Графен прозрачен в широком диапазоне длин волн (пропускает около 97,7% света)
3. Механическая прочность: Графен является одним из самых прочных материалов
4. Теплопроводность: Графен обладает высокой теплопроводностью (около 3000-5000 Вт/(м·К))
5. Анизотропия: Графен обладает оптической анизотропией

Применение:

1. Нанометровые волноводы: Графеновые волноводы способны обеспечить высокую скорость передачи данных в интегральных оптических системах, улучшая производительность и миниатюризацию оптических устройств.
2. Оптические переключатели: Благодаря быстродействию и энергоэффективности графена, оптические переключатели на его основе могут использоваться в высокоскоростных телекоммуникационных сетях и квантовых компьютерах.
3. Метаповерхности: Графеновые метаповерхности позволяют создавать плоские линзы, адаптивные оптические элементы и устройства для управления светом в наноразмерном масштабе. Это может привести к развитию новых типов камер, проекторов и других оптических устройств.
4. Плазмонные резонаторы: Использование графена в плазмонных резонаторах позволяет улучшить эффективность преобразования и усиления световых сигналов, что открывает возможности для развития высокочувствительных сенсоров и устройств обработки данных.
5. Датчики: Графеновые наноструктуры могут быть применены в биосенсорах для обнаружения малых концентраций биомолекул, что имеет значительный потенциал для медицины и биотехнологии.

2) Гексагональный нитрид бора (впервые был синтезирован 1840-х годах, но начал применяться в нанофотонике в 2017-2018 годах, так как был нестабилен)

Гексагональный нитрид бора (hBN) представляет собой двумерный материал, состоящий из слоев атомов бора и азота, расположенных в виде гексагональной решетки. Этот материал обладает высокой химической стабильностью и теплопроводностью, что делает его идеальным для использования в нанофотонике.

Свойства:

1. Высокая теплопроводность: hBN обладает высокой теплопроводностью (400 Вт/(м·К))
2. Оптическая прозрачность: hBN прозрачен в широком диапазоне длин волн, включая ультрафиолетовый и видимый спектры.

3. Химическая стабильность: Этот материал устойчив к воздействию агрессивных химических сред, что делает его долговечным и надежным.

4. Анизотропия: hBN обладает оптической анизотропией

5. Электрическая изоляция: hBN является отличным электрическим изолятором

Применение:

1. Нанометровые волноводы: hBN позволяет создавать волноводы с наноразмерами, что способствует улучшению компактности и эффективности интегральных оптических устройств. Это может привести к развитию более мощных и миниатюрных фотонных интегральных схем.

2. Метаповерхности: hBN-метаповерхности способны управлять распространением света с высокой точностью, что открывает возможности для создания новых типов оптических приборов, таких как сверхтонкие линзы, голографические устройства и оптические датчики.

3. Оптические переключатели: hBN может использоваться для создания высокоскоростных и энергоэффективных оптических переключателей, что имеет перспективы в сфере телекоммуникаций и сетей передачи данных, включая квантовые коммуникации.

4. Термическое управление: Термическое управление: Высокая теплопроводность hBN позволяет эффективно рассеивать тепло в нанофотонных устройствах, что улучшает их надежность и долговечность. Это важно для создания высокопроизводительных оптических устройств, работающих в условиях высоких температур.

5. Изоляционные слои: hBN используется в качестве электрического изолятора в оптоэлектронных устройствах, что предотвращает короткие замыкания и улучшает работу устройств. Это открывает возможности для создания более надежных и долговечных электронных и оптоэлектронных устройств.

3) Точилинит (впервые найден в 1966 году, в нанофотонике с 2023 года)

Точилинит — это природный минерал, состоящий из чередующихся слоев сульфида железа и гидроксида магния. В последние годы ученые активно исследуют его применение в нанофотонике и других областях благодаря его уникальным свойствам.

Свойства точилинита:

1. Периодическая структура: Точилинит имеет слоистую структуру

2. Электронные свойства: Сульфидные слои точилинита определяют его электронные свойства, которые можно регулировать, изменяя состав гидроксидной части.

3. Оптические свойства: Точилинит обладает уникальными оптическими свойствами

4. Магнитные свойства: Магнитные свойства точилинита также определяются сульфидными слоями и могут быть изменены путем добавления различных элементов в гидроксидные слои.

Применение:

1. Оптоэлектроника: Благодаря своим уникальным оптическим и электронным свойствам, точилинит открывает перспективы создания высокоэффективных светодиодов, лазеров и других оптоэлектронных устройств. Это может улучшить энергоэффективность и производительность этих технологий, а также расширить их область применения.

2. Сенсоры: Высокая чувствительность точилинита позволяет разрабатывать сенсоры, способные обнаруживать изменения в окружающей среде с высокой точностью. Это может найти применение в различных областях, включая медицинскую диагностику, мониторинг окружающей среды и контроль качества продукции.

3. Наноантенны: Точилинит предоставляет возможность создания наноантенн, которые могут управлять светом на нанометровом уровне. Это открывает перспективы разработки новых фотонных устройств, таких как высокоэффективные солнечные элементы, нанолазеры и другие нанофотонные технологии.

4. Электроды: Точилинит может использоваться для создания электродов в электрохимических устройствах, таких как литиевые и магниевые источники тока. Его уникальные свойства позволяют создавать более долговечные и эффективные электроды, что улучшает производительность аккумуляторов и других энергонакопительных устройств.

5. Метаповерхности: Точилинитовые метаповерхности способны управлять светом с высокой точностью, что позволяет создавать новые оптические эффекты и устройства. Это может привести к развитию новых типов фотонных интегральных схем, оптических датчиков и других оптических технологий.

Проблемы и решения, которые связаны с новыми материалами в нанофотонике:

1) Проблемы:

1. Совместимость с существующими технологиями: Многие новые материалы не совместимы с кремниевыми технологиями, что затрудняет их интеграцию в существующие оптические и электронные системы.

2. Производственные сложности: Создание наноструктурированных материалов требует сложных и дорогостоящих технологий, таких как молекулярно-лучевая эпитаксия и электронно-лучевая литография.

3. Стабильность и долговечность: Некоторые новые материалы могут быть нестабильными или иметь ограниченный срок службы, что ограничивает их практическое применение.

4. Оптические потери: В некоторых материалах возникают значительные оптические потери, что снижает эффективность устройств нанофотоники.

2) Решения:

1. Инновационные производственные методы: Использование передовых технологий, таких как молекулярно-лучевая эпитаксия и электронно-лучевая литография, позволяет создавать высококачественные наноструктуры.

2. Улучшение стабильности материалов: Исследования направлены на повышение стабильности и долговечности новых материалов, что делает их более пригодными для практического применения.

3. Снижение оптических потерь: Разработка новых методов и технологий, таких как фотонные кристаллы, помогает снизить оптические потери и повысить эффективность устройств нанофотоники.

Текущие проекты в нанофотонике:

1. Проект МФТИ и Университета Менуфия: Международная команда исследователей из МФТИ и Университета Менуфия (Египет) занимается разработкой новой элементной базы для фотонных интегральных схем с использованием ван-дер-ваальсовых материалов. Эти новые подходы обещают улучшить оптические свойства и функциональность устройств нанофотоники.

2. Исследования в области двумерных материалов: Проект «Новые двумерные и ван-дер-ваальсовые материалы: свойства и перспективные применения» охватывает направления, такие как материаловедение, инженерия, технологии изготовления и перенос наноразмерных образцов. Основная цель проекта - создание новой элементной базы для нанофотоники, включая многофункциональные метаповерхности, наноразмерные волноводы и резонансные структуры.

3. Междисциплинарные исследования: Нанофотоника – это активно развивающаяся область современной физики и технологий, где оптика соединяется с физикой наноструктур и нанотехнологиями. Исследования сосредоточены на создании новых оптических материалов, элементов лазерных технологий, биомаркеров и биочипов.

Заключение:

Нанофотоника - перспективная область, развивающаяся благодаря инновационным материалам, таким как графен, гексагональный нитрид бора и точилинит. Эти материалы обладают уникальными оптическими и тепловыми свойствами, что позволяет создавать высокоэффективные и миниатюрные оптические устройства для информационных технологий, медицины и других областей.

Исследования и разработки в нанофотонике продолжаются, направленные на преодоление технических и производственных вызовов, таких как совместимость с существующими технологиями и стабильность материалов. Современные проекты и междисциплинарные исследования способствуют прогрессу в этой области, открывая новые возможности для улучшения качества жизни и технологических прорывов.

Список использованных источников:

*1. *Photonics Europe Conference*. Материалы конференции о нанофотонике и оптических технологиях. – Страсбург: SPIE, 2024. – 450 с. 3. Гасумов Ю. П. Материалы для оптоэлектроники : учебное пособие / Ю. П. Гасумов. – М. : Издательство "Наука",, 2018. – 320 с.*

2. Нанофотоника [Электронный ресурс] / TAdviser. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Нанофотоника?citationMarker=43dcd9a7-70db-4a1f-b0ae-981daa162054.

3. Найден мостик перехода от электроники к фотонике [Электронный ресурс] / За науку. МФТИ. – URL: https://zanauku.mipt.ru/2023/06/06/najden-mostik-perehoda-ot-elektroniki-k-fotonike/?citationMarker=43dcd9a7-70db-4a1f-b0ae-981daa162054.

4. Разработаны новые синтетические многофункциональные двумерные материалы в виде наночастиц точилинита [Электронный ресурс] / Научная Россия. – URL: https://scientificrussia.ru/articles/razrabotany-novye-sinteticeskie-mnogofunkcionalnye-dvumernye-materialy-v-vide-nanocesuek-tocilinita?citationMarker=43dcd9a7-70db-4a1f-b0ae-981daa162054.

UDC 539.122-022.532

NEW MATERIALS IN NANOPHOTONICS

Kapelyan S.V.[1] , Reshetnik P.V.[1], students gr. 418703

"Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics[1]"
Minsk, Republic of Belarus

Doroshevich I.L. – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor

Annotation. Nanophotonics studies the interaction of light with nanoscale materials such as graphene, hexagonal boron nitride (hBN), and grindstone, which have unique optical and thermal properties. These materials are used to create nanometer waveguides, metasurfaces, sensors, and optoelectronic devices. They open up new opportunities in medicine, information technology, and energy. Modern research is aimed at overcoming challenges such as manufacturing complexity and integration with silicon technologies. Innovative projects contribute to the development of nanophotonics by providing solutions for the creation of highly efficient and compact devices of the future.

Keywords. Nanophotonics, graphene, hexagonal boron nitride, sharpener.