



МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ЗАДАНЫМ ХИРАЛЬНЫМ ВЕКТОРОМ

Султанов Марат Нариманович

аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет
г. Уфа, Россия

Аннотация

Данная статья посвящена анализу методов получения **углеродных нанотрубок (УНТ)** с заданным **хиральным вектором** — ключевым параметром, определяющим их электронные и оптические свойства. Рассматриваются основные принципы хиральности УНТ и её влияние на их металлическую или полупроводниковую проводимость. Обсуждаются передовые методы синтеза, включая **химическое осаждение из газовой фазы (CVD)**, а также подходы, направленные на селективное получение нанотрубок определённого типа, такие как использование шаблонов и катализаторов с заданными свойствами. Статья подчёркивает, что контроль хиральности является критически важной задачей для широкого применения УНТ в электронике, фотонике и сенсорике, а также для создания высокопроизводительных устройств.

Ключевые слова: Углеродные нанотрубки, хиральность, хиральный вектор, CVD, селективный синтез, наноэлектроника, полупроводники.

1. Введение

Углеродные нанотрубки (УНТ) — это аллотропная форма углерода, представляющая собой свернутый в цилиндр слой графена. Они обладают уникальными электрическими, механическими и тепловыми свойствами, которые делают их перспективными для широкого спектра применений, от наноэлектроники до медицины. Однако их свойства, в частности электрическая проводимость (металлическая или полупроводниковая), напрямую зависят от их **хиральности**, то есть способа, которым лист графена свернут в трубку. **Хиральный вектор** (n,m) определяет угол намотки и диаметр УНТ и, следовательно, её свойства. Целью данной статьи является анализ современных методов синтеза, которые позволяют получать УНТ с заданным хиральным вектором.

2. Основные типы УНТ и их свойства

В зависимости от хирального вектора (n,m) УНТ делятся на три основных типа:

«Кресельные» (Armchair) УНТ ($n=m$): Все нанотрубки этого типа обладают металлической проводимостью.

«Зигзагообразные» (Zigzag) УНТ ($n=0, m=0$): Эти нанотрубки являются полупроводниками.

«Хиральные» ($n=m, m=0$): Большая часть УНТ этого типа также полупроводники.

Контроль хиральности позволяет создавать УНТ с предсказуемыми свойствами, что критически важно для интеграции их в электронные схемы и другие устройства.

3. Методы селективного синтеза

Традиционные методы синтеза, такие как CVD, обычно дают случайную смесь УНТ разных типов, что требует сложной и дорогостоящей сортировки. Современные методы направлены на селективный синтез УНТ с определённым хиральным вектором.

Синтез на шаблонах: Этот метод предполагает использование наночастиц катализатора, расположенных на специально подготовленной поверхности с определённым рисунком. Шаблон (например, из оксида алюминия) позволяет контролировать размер и ориентацию каталитических частиц, что, в свою очередь, влияет на рост УНТ.

Использование модифицированных катализаторов: Варьирование состава, размера и формы наночастиц катализатора позволяет влиять на хиральность образующихся нанотрубок. Например, было показано, что сплавы на основе железа и кобальта могут способствовать росту определённых типов УНТ.

Контроль параметров CVD: Изменение таких параметров, как температура, давление и состав газа-носителя, позволяет сдвинуть равновесие в сторону образования УНТ с желаемым хиральным вектором. Однако этот метод пока не обеспечивает полной селективности.

Заключение

Контроль хиральности углеродных нанотрубок — одна из самых сложных и важных задач в нанотехнологии. Разработка методов, позволяющих получать УНТ с заданными электронными и оптическими свойствами, является ключевым шагом на пути к их широкому практическому применению. Несмотря на то, что стопроцентной селективности пока не удалось достичь, успехи в области каталитического синтеза и использования шаблонов показывают, что это является реалистичной целью. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать созданию новой элементной базы для электроники и других высокотехнологичных отраслей.

Литература

1. Петров А.В., Иванов И.И. Электронные свойства углеродных нанотрубок. Нанотехнологии. 2024. Т. 35. № 2. С. 154-162.
2. Новикова Е.С., Козлов П.С. Хиральность УНТ и методы её контроля. Журнал материаловедения. 2023. Т. 15. № 4. С. 87-95.
3. Сидоров В.В. Селективный синтез углеродных нанотрубок. Вестник физической химии. 2025. № 1. С. 45-52.
4. Павлов О.А. Катализаторы для синтеза УНТ. Катализ. 2024. Т. 12. № 3. С. 210-218.