

Органические полупроводники: физика и перспективы практических применений

Л. И. Рябова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Энергетический спектр органических соединений определяется характером гибридизации электронов атомов углерода. К органическим полупроводникам относятся соединения, в основе которых лежат молекулы, содержащие атомы углерода с sp^2p_z гибридизацией атомных орбиталей. В этом случае три электронные орбитали атома углерода лежат в одной плоскости (σ -связи), и одна p -орбиталь перпендикулярна этой плоскости (π -связи). Электроны, образующие σ -связь, строго локализованы, электроны на π -орбиталях локализованы существенно слабее. Именно эти электроны обеспечивают проводимость органических соединений. Основное состояние формируется из двух состояний с разными энергиями ($\pi-\pi^*$). На языке молекулярных орбиталей эти состояния обозначаются как НОМО и LUMO. Энергетический зазор между НОМО и LUMO определяет ширину запрещенной зоны. Таким образом, эти орбитали можно считать аналогами валентной зоны и зоны проводимости в неорганических полупроводниках. Особенностью энергетического спектра органических полупроводников является узость разрешенных зон и крайне низкие подвижности носителей заряда [1, 2].

Повышенный интерес к органическим полупроводникам связан, в первую очередь, со сравнительной простотой технологий и низкой стоимостью продукта. Весьма важно, что использование органических молекул разной конфигурации открывает широкие возможности для модифицирования как электрофизических, так и оптических свойств материала. Область спектральной чувствительности органических соединений перекрывает весь видимый диапазон спектра. Этим веществам может быть присуща анизотропия. Легирование, как на атомном, так и на молекулярном уровнях, позволяет изменять положение уровня Ферми в достаточно широких пределах.

Можно выделить два класса органических веществ, имеющих полупроводниковые свойства. Это молекулярные полупроводники и полимеры. Молекулярные полупроводники представляют собой кристаллические структуры, в которых в качестве формирующих кристаллическую решетку элементов выступают органические молекулы. Эти соединения характеризуются более высокими значениями подвижности и менее дефектной структурой. Как правило, молекулярные полупроводники осаждают на подложку с помощью вакуумных технологий. Преимуществом полимеров является возможность получения из

растворов (в том числе водных) посредством разбрызгивания и печати. В этом случае в качестве подложек может быть использован гибкий пластик.

В настоящее время на базе органических полупроводников созданы полевые транзисторы, элементы солнечных батарей, излучательные диоды (OLEDs) [2–5]. При исследовании органических полупроводников остаются актуальными все проблемы, возникающие при изучении неорганических полупроводников и структур. Это чистота материала, наличие дефектов, степень упорядоченности, временная стабильность параметров, деградационные процессы и др. Наряду с этим возникают и специфические трудности, связанные с гидратацией материала и хемосорбционной активностью. Первое приводит к наличию ионной компоненты проводимости, второе — к чувствительности к составу окружающей атмосферы.

Рассматриваются физические принципы работы элементов электроники и оптоэлектроники на базе органических полупроводников, описывается специфика этих материалов, приводятся предельные достигнутые на настоящий момент характеристики элементов. Кроме того, рассматриваются основные трудности при работе с указанными материалами, а также некоторые способы преодоления этих трудностей.

Литература

- [1] К. Као, В. Хуанг. *Перенос электронов в твердых телах. Электрические свойства органических полупроводников.* (Москва, Мир, 1984).
- [2] Alan J. Heeger. *Synthetic Metals* **125**, 23 (2002).
- [3] P. Heumans, A. Yakimov, S.R. Forrest. *J. Appl. Phys.* **93**, 3693 (2003).
- [4] R. McConnell. *ФТП* **38**, 971 (2004).
- [5] A.N. Krasnov. *Displays* **24**, 73 (2003).