DOI: 10.17117/na.2016.12.02.092

<http://ucom.ru/doc/na.2016.12.02.092.pdf>

Поступила (Received): 30.12.2016

Мищенко Д.С., Степкин С.В., Дубина В.И. Органические солнечные элементы

Mischenko D.S., Stepkin S.V., Dubina V.I.
Organic solar elements

В данной статье рассмотрены органические полупроводниковые материалы. В современном мире очень большую роль играет электроэнергия. У науки стоят задачи поиска более дешевых источников электроэнергии. Именно поэтому солнечная энергетика становится все более востребованной, а поиски более выгодных материалов выходит на первый план

Ключевые слова: органические полупроводники, молекулярные солнечные элементы, современная солнечная энергетика, органические ФЭП

This article describes the organic semiconductor materials. In today's world, very important role is played by electricity. Science face the problem of finding cheaper sources of electricity. That is why solar energy is becoming increasingly popular, and the search for better materials comes to the fore

Key words: organic semiconductors, molecular solar cells, modern solar energetics, organic solar cells

Мищенко Дмитрий Сергеевич

Студент

Кубанский государственный университет
г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

Mischenko Dmitrii Sergeevich

Student

Kuban state university
Krasnodar, Stavropolskaya st., 149

Степкин Станислав Валерьевич

Студент

Кубанский государственный университет
г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

Stepkin Stanislav Valerievich

Student

Kuban state university
Krasnodar, Stavropolskaya st., 149

Дубина Вадим Иванович

Студент

Кубанский государственный университет
г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

Dubina Vadim Ivanovich

Student

Kuban state university
Krasnodar, Stavropolskaya st., 149

Введение.

Обычные солнечные элементы были изобретены в 1950х годах. В промышленное производство они поступили в 1960х и использовались в космических программах. С тех пор эффективность и надежность СЭ многократно возросли, наряду с существенным снижением стоимости изготовления. В результате фотоэлектрическая индустрия быстро распространялась и развивалась. Тем не менее, цена солнечной электроэнергии значительно выше, чем цена электроэнергии из электрической сети в промышленных странах. Именно поэтому существует все большее количество исследований, посвященных потенциально менее дорогим типам солнечных элементов, таких как те, которые

основаны на органических красителях и полимерах. Такие СЭ изучаются с конца 50х годов и по сей день. Одним из преимуществ органических СЭ является то, что с помощью синтетической химии можно производить материалы с нужными оптоэлектрическими свойствами [1].

Молекулярные материалы.

Органические молекулы и полимеры могут химически изменять свои характеристики, например оптическую ширину запрещенной зоны. Например сопряженные полимеры (рисунок 1) соединяют в себе электрические свойства, соответствующие классическим полу-проводникам, с легкостью обработки и гибкостью пластика. Исследование этих видов органических материалов начали Heeger, MacDiarmid and Shirakawa, которые обнаружили, что проводимость polyacetylene (PA) может быть увеличена на семь порядков. С тех пор этот класс материалов привлек значительное внимание, благодаря своему потенциалу в производстве экологически безопасной, гибкой, легкой и недорогой электроники.

Рис. 1. Молекулярная структура сопряженных *trans*-polyacetylene (PA), poly(*p*phenylene-vinylene) (PPV) и замещенного PPV (MDMO-PPV)

Сокращение расходов в основном обусловлено легкостью обработки из растворов. Тем не менее обработка раствора требует растворимых полимеров. PPV (Рисунок 1) плохо растворим. Крепление основных групп к сопряженной основной цепи, как и в MDMO-PPV (Рисунок 1), повышает растворимость полимера в огромной степени.

Последние разработки в области струйной печати, микро-контактной печати и других мягких методов литографии дополнительно улучшают потенциал сопряженных полимеров для дешевого изготовления больших площадей интегрированных устройств на жестких и гибких подложках. Хорошим примером использования этого вида полимеров в коммерческих продуктах являются светоизлучающие диоды. В настоящее время разрабатываются новые аппаратные платформы, способные решить масштабные электронные проблемы, связанные с тонкими органическими пленками. В отличие от сопряженных полимеров, сопряженные молекулы термически напыляют в условиях высокого вакуума. Не смотря на то, что постепенное повышение эффективности было

достигнуто у солнечных элементов, основанных на этом методе напыления, этот метод является более дорогим, чем обработка из раствора и, следовательно, менее привлекательным.

Энергетические уровни в органических материалах могут быть связаны с энергетическими уровнями неорганических полупроводников (Рисунок 2). Энергия, необходимая для перехода электрона из валентной зоны неорганического полупроводника до уровня вакуума, обозначается как потенциал ионизации, а электронное сродство означает энергию, полученную при переходе электрона от уровня вакуума до края зоны проводимости. В молекулярных материалах электроны могут быть освобождены от так называемой верхней занятой молекулярной орбитали (HOMO) в вакууме. Энергию можно грубо оценить основываясь на электрохимическом потенциале окисления (NHE) молекул, используя соотношение: $E_{\text{HOMO}} \approx E_{\text{NHE}} - V_{\text{ox}}$, где $E_{\text{NHE}} = -4.5 \text{ V}$. Аналогичным образом, электронное сродство, можно оценить из восстановительного потенциала, используя соотношение: $E_{\text{LUMO}} \approx E_{\text{NHE}} - V_{\text{red}}$. Разница между этими двумя уровнями равна оптической ширине запрещенной зоны молекул.

Рис. 2. Обзор энергетических уровней неорганических и органических полупроводников

Альтернативными методами определения уровней энергий в молекулярных слоях являются: Ультрафиолетовая электронная спектроскопия (UPS) и сканирующая зондовая микроскопия методом Кельвина. Концентрация подвижных носителей заряда в пределах внутренних молекулярных слоев в темноте при комнатной температуре, как правило, невелика, в следствии чего проводимость также невелика. Для образования слоев n- или p- типа проводимости используют не прямое легирование, так как это часто приводит к деградации органического вещества.

Молекулярные материалы, которые имеют низкий потенциал ионизации, и, таким образом, может легко пожертвовать электрон называются доноры.

Материалы, которые имеют высокое сродство к электрону и могут взять лиш- ний электрон, называются акцепторами [2, 3].

Возбужденные состояния в молекулярных материалах.

Основные различия между органическими и неорганическими полупро- водниковыми фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП) заключаются в относительности роли межфазных процессов. Это связано с механизмом гене- рации носителей заряда. Поглощение света в ФЭП приводит к образованию сво- бодных носителей заряда. Это означает, что заряды создаются по всему объему полупроводника. В противоположность этому, поглощение света органиче- скими полупроводниками приводит к возбуждению молекул, которое может мигрировать по кристаллу. Это происходит по двум причинам: во-первых, ди- электрическая проницаемость органического полупроводника, как правило, ниже чем у неорганического полупроводника. Это создает кулоновский потен- циал притяжения вокруг зарядов. Во-вторых, в молекулярных материалах неко- валентные электронные взаимодействия между молекулами слабы по сравне- нию с сильными межатомными электронными взаимодействиями ковалентно связанных неорганических полупроводников, как в кремнии. По этим двум при- чинам волновая функция электрона пространственно ограничена потенциаль- ной ямой. Поэтому в результате поглощения света рождается нейтральная пара электрон/дырка или экситон.

Для расчета энергии связи между двумя разноименными зарядами в моле- кулярном материале используют соотношение:

$$E_B = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r_c} \quad (2)$$

Где r_c – критическое расстояние между двумя зарядами, ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость в ваку- уме.

Рис. 3. Критическое расстояние между электроном и дыркой как функция температуры и диэлектрической проницаемости

Носитель заряда становится свободным от кулоновского притяжения противоположного заряда, когда $E_B \leq k_B T$, которая равна 25 мэВ при комнатной температуре. Исходя из соотношения 1:

$$r_c = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 k_B T} \quad (2)$$

При комнатной температуре в молекулярных материалах с ϵ_r равной 3,5, r_c приблизительно равна 20 нм, в то время как у Si при той же температуре и ϵ_r равной 11,7 эта величина близка 6 нм

На рисунке 3 показано влияние температуры и относительной диэлектрической проницаемости на критическое расстояние между зарядами. Для молекулярных экситонов r_c , как правило, равно 1 нанометр, которое соответствует энергии связи, превышающей 0,25 эВ. Тем не менее, чтобы получить фотоэлектрический эффект в органических солнечных элементах экситон нужно разделить. Для решения этой проблемы в органических ФЭП используют два различных материала, обладающих свойствами донора и акцептора. Разделение экситона осуществляется путем перехода электрона между двумя соединениями. Энергия, полученная в результате этого процесса, должна превышать энергию связи экситона. Таким образом, фотогенерация свободных носителей заряда намного эффективнее по сравнению с чистым материалом, в котором обычно образуются экситоны или пара электрон/дырка [4, 5].

Список используемых источников:

1. Halls, J.J. and R.H. Friend, *Organic Photovoltaic devices*, in *Clean electricity from photovoltaics*, M.D. Archer and R. Hill, Editors. 2001, Imperial College Press: London.
2. Simon, J. and J.J. Andre, *Molecular semiconductors*. 1985, Berlin-Heidelberg: SpringerVerlag. 142.
3. Hoppe, H. and N.S. Sariciftci, *Organic solar cells: An overview*. *Journal Of Materials Research*, 2004. 19(7). P. 1924-1945.
4. Gregg, B.A., *Excitonic solar cells*. *Journal of Physical Chemistry B*, 2003. 107(20): p.4688-4698.