

УДК 581.14:582.926.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СОЗДАНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ БИОЭЛЕКТРОНИКИ

© 2005 г. М.Г. Барышев¹, И.В. Сидоров², О.В. Евдокимова²,
А.Н. Коржов², Н.Н. Куликова²

Обнаружен неизвестный ранее эффект неустойчивости тока (НТ) на границе раздела металл – органическая пленка – водный раствор органического полупроводника. Выявлено, что эффект неустойчивости тока наблюдается при приложении разности потенциалов от 5 до 70В между двумя электродами, погруженными в анилин. Анилин расположен на поверхности водного раствора, содержащего органический полупроводник *p*-типа. Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) показали наличие *S*-образных участков.

На рубеже XX–XXI вв. развитии науки и, в частности, электроники наметился прорыв в научных исследованиях, который может вывести человеческую цивилизацию на новую ступень развития, связанную с нанотехнологиями, наноматериалами и нанoeлектроникой [1, 2]. По оценкам различных экспертов, технологии, основанные на использовании наноматериалов, будут доминировать не менее 30 лет. Постепенно с развитием нанотехнологий человечество будет приближаться к эре биоэлектронных компонентов и биокомпьютеров. То есть развитие нанотехнологий должно дать мощный толчок к развитию биоэлектроники.

Однако еще в недрах микроэлектроники, основанной на использовании твердотельных приборов, появилось направление, которое связано с тем, что отдельные компоненты электронных схем, по аналогии с отдельными составляющими биологических объектов, выполняют не узкоспецифические и единичные функции, а являются многофункциональными. Принцип действия таких приборов микроэлектроники основан на использовании динамических неоднородностей. Развитие этого направления привело к формированию новой области электроники – функциональной электроники, изучающей процессы генерации, распространения и взаимодействия динамических неоднородностей в твердом теле.

Так, например, в приборах с зарядовой связью, относящихся к приборам функциональной

электроники, информация хранится или обрабатывается в виде динамической неоднородности – зарядового пакета из электронов и дырок. Вероятно, что в будущем чрезвычайно важными станут функциональные приборы, способные генерировать электрические колебания по параметрам, близким к принятым в электронике стандартам, что позволит встраивать эти новые функциональные устройства в уже существующие или же легко согласовывать с ними. Поэтому нами была предпринята попытка создания функционального электронного прибора на основе органических полупроводников.

Для создания новой функциональной структуры водный раствор органического полупроводника *p*-типа заливали в ванну размером 5 × 2,5 × 2,5 мм, на дне которой располагался медный электрод площадью 3,1 мм², и поверх этого раствора создавали тонкую пленку из полупроводника *n*-типа. В силу различной плотности вещества не перемешивались. В качестве *n*-полупроводника использовали анилин, а *p*-полупроводника – фуксин, метиленовый голубой и глюкозу. В анилин погружались два электрода, выполненные в виде медных игл диаметром 0,25 мм, гальванически обработанных оловом. Электроды можно было перемещать по поверхности *n*-области независимо друг от друга и регулировать глубину их погружения. К одному из электродов прикладывался отрицательный полюс источника питания, который в дальнейшем мы будем называть активным электродом (АЭ). Падение напряжения, вызванное протекающим через АЭ током, снималось с резистора R_1 и регистрировалось с помощью осциллографа.

¹ Лаборатория проблем природных и новых материалов Южного научного центра РАН, г. Краснодар.

² Кубанский государственный университет, г. Краснодар.

Блок-схема включения функциональной структуры показана на рисунке 1.

При приложении разности потенциалов от 30 до 70 В между двумя электродами, погруженными в полупроводник n -типа на резисторе R_1 , включенном в цепь АЭ, нами были зафиксированы релаксационные колебания, форма которых представлена на рисунке 2.

Экспериментально было установлено, что для возникновения устойчивых колебаний при меньшем напряжении U_1 (от 5 В) необходимо было задавать постоянный уровень тока (от 10 до 100 мкА) между p - и n -областями (между электродами 2 и 3) с помощью генератора тока, состоящего из высокоомного резистора R_2 и источника постоянного напряжения U_2 .

Исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур на основе жидких органических полупроводников проводились с помощью характеристикиста Л2-56. Схема включения была аналогична снятию семейств транзистора, подключенного по схеме с общей базой. На АЭ подавалось обратное напряжение, а между раствором фуксина и пленкой анилина подавался ток величиной 50 мкА. На рисунке 3 представлены типичные семейства ВАХ новых структур, измеренные в режиме генератора тока.

Как следует из графиков, при некотором критическом напряжении $U_{кр}$ (для исследуемых образцов – в пределах от 5,3 до 6,8 В, в зависимости от расстояния между электродами в анилине) возникает неустойчивость тока (характерное размытие на ВАХ). При увеличении уровня тока инжекции на ВАХ появляется участок отрицательного сопротивления (S -образный участок).

Возникновение колебаний тока и участков отрицательного сопротивления и отрицательной проводимости в структурах свидетельствует о наличии в них положительной обратной связи по току и напряжению. Созданная функциональная структура может найти широкое применение в медико-биологических исследованиях.

Ранее подобные колебания были обнаружены Б.С. Муравским в твердотельных приборах, изготовленных на основе кремния, а именно в структурах с распределенным p - n -переходом и локальным контактом на n -области структуры металл-туннельный окисел-полупроводник (МТОП) [3]. Согласно теории, разработанной Б.С. Муравским, возникновение этих релаксационных колебаний связано с накоплением неравновесных носителей на границе контакта металл- n -полупроводник [4, 5]. Созданная нами структура является аналогом разработанной Б.С. Муравским, но выполнена на жидких органических

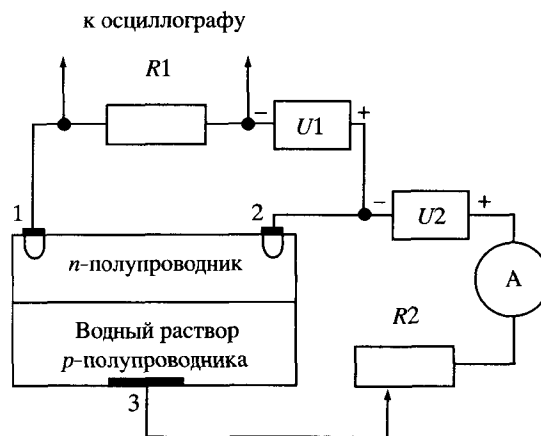


Рис. 1. Блок-схема включения функциональной структуры, где 1 – активный электрод, погруженный в раствор органического полупроводника n -типа, 2 – пассивный электрод, погруженный в раствор органического полупроводника n -типа, 3 – электрод, погруженный в раствор органического полупроводника p -типа, R_1 – резистор, ограничивающий ток в цепи АЭ, U_1 – источник напряжения в цепи электродов 2 и 3

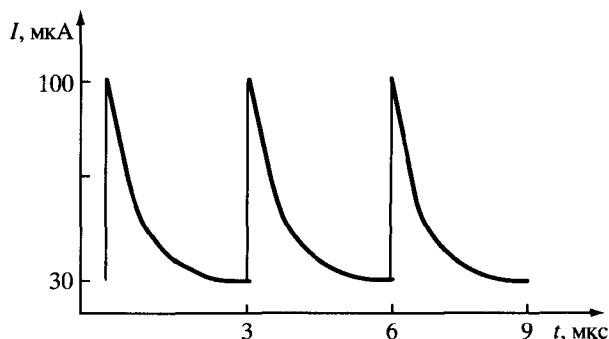


Рис. 2. Релаксационные колебания тока, наблюдаемые в структуре, созданной на основе жидких полупроводников

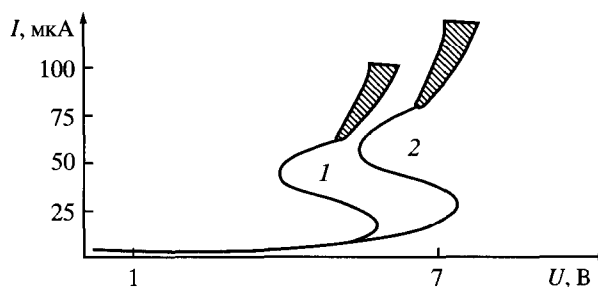


Рис. 3. Семейство вольт-амперных характеристик функциональной структуры, созданной на основе жидких полупроводников: кривая 1 – расстояние между электродами 1,5 мм; кривая 2 – расстояние между электродами 1 мм

полупроводниках. Известны и другие устройства, способные генерировать подобные колебания, но все они выполнены на основе твердотельных структур, что затрудняет их использование внутри биологических систем [6, 7].

Разработанная на основе органических полупроводников функциональная структура может изменять свои геометрические размеры в соответствии с имеющимся внутри биологической системы свободным объемом, имеет близкие величины плотности в силу того, что состоит из органических веществ. Благодаря этому появляется возможность создания новых датчиков акустических колебаний, давления, внутриклеточных потенциалов и др. Кроме того, были предприняты попытки (весьма успешные) создания генерирующих структур в трикотажных материалах, пропитанных органическим раствором полупроводника, для разработки одежды, обладающей физиотерапевтическим эффектом.

Отметим, что генерация электрических колебаний возникает только тогда, когда толщина окисла, созданного на n -области, меньше 3 нм, то есть этот прибор можно отнести к изделиям наноэлектроники. Возможно, в основе работы лежит наноэффект туннелирования электронов с поверхностных состояний через слой окисла в зону проводимости полупроводника.

По величинам используемых напряжений и параметрам генерируемых колебаний созданная нами структура подобна существующим электронным устройствам. Благодаря органическому происхождению основной части структуры, физическим принципам работы и многофункциональности она крайне близка к биологическим системам передачи информации, созданным природой. Поэтому ее можно считать промежуточной стадией в переходе к чисто молекулярным элементам электронных схем.

Выводы. Удалось создать функциональную структуру, генерирующую релаксационные колебания, частотой которых легко управлять, изменяя величину тока через p - и n -области или величину прикладываемой разности потенциалов между электродами к n -области. Эта структура может положить начало созданию новой одежды, обладающей лечебными свойствами. Проведенные предварительные исследования по созданию датчика акустических колебаний и одежды, обладающей физиотерапевтическими свойствами, позволяют сформировать новое направление в электронике, которое будет неразрывно связано с экологией, биологией и медициной.

Результаты работы получены в соответствии с тематикой выполнения НИР ЮНЦ РАН N 00-04-13 и N 00-04-25.

ЛИТЕРАТУРА

1. Collins P., Bradley K., Ishigami M., Zettl A. // Science, 2000. V. 287. P. 1801–1804.
2. Сидоров Ю.Г., Торопов А.И., Шапкин В.В., Овсяк В.Н., Гайслер В.А., Гутаковский А.К., Латышев А.В., Ткаченко В.А., Квон З.Д., Двореченский А.В., Пчеляков О.П., Принц В.Я., Попов В.П., Асеев А.Л. // Автометрия. РАН, Сибирское отделение. 2004. Т. 40. № 2. С. 4–19.
3. Муравский Б.С., Черный В.Н., Яманов И.Л., Потапов А.Н., Жужжа М.А. // Микроэлектроника, 1989. Т. 18. № 4. С. 304–309.
4. Муравский Б.С., Кузнецов В.И. // Радиотехника и электроника, 1980. Т. 25. С. 1112–1114.
5. Муравский Б.С., Гусаков В.С., Кружилина Н.Г., Швед А.Г. // ФТТ, 1965. Т. 7. № 10. С. 3412–3413.
6. Заикина Н.Б., Кучкова Е.И., Маханова Л.В., Фокина Н.А. Материал для изготовления лечебных одеял / Патент РФ № 2001129390, МПК А61N1/16, В32В7/00, заявлено 31.10.2001, опубликовано 27.04.03. Бюл. № 7.
7. Ефремов В.И., Куликовский В.И., Осипович В.К., Спиридонов К.А., Яшин В.И. Радиозащитная одежда / Патент РФ № 5066020, МПК А41D13/00, заявлено 22.06.1992, опубликовано 20.10.1995. Бюлл. № 5.

THE OUTCOMES OF INVESTIGATIONS FOR CREATURE FUNCTIONAL DEVICES FOR BIOLOGICAL ELECTRONICS

M.G. Barishev, I.V. Sidorov, O.V. Evdokimova, A.N. Korzov,
N.N. Kulikova

The effect of instability of current at the interface of metal – organic film – water solution of organic semiconductor is found out. It is discovered that the effect of instability of current is observed at the superposition of voltage from 5 to 70 v between two electrodes plunged into aniline. Aniline is located on the surface of water solution that contain organic semiconductor of p -type. The measurements of current-voltage characteristics have shown the presence of s -plot.

REFERENCES

1. Collins P., Bradley K., Ishigami M., Zettl A. 2000. *Science*. 287: 1801–1804.
2. Sidorov Yu.G., Toropov A.I., Shashkin V.V., Ovsyuk V.N., Gaysler V.A., Gutakovskiy A.K., Latyshev A.V., Tkachenko V.A., Kvon Z.D., Dvurechenskiy A.V., Pchelyakov O.P., Prints V.Ya., Popov V.P., Aseev A.L. 2004. *Avtometriya. (Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing)*. 40(2): 4–19. (In Russian).
3. Muravskiy B.S., Chernyy V.N., Yamanov I.L., Potapov A.N., Zhuzhza M.A. 1989. *Mikroelektronika*. 18(4): 304–309. (In Russian).
4. Muravskiy B.S., Kuznetsov V.I. 1980. *Radiotekhnika i elektronika*. 25: 1112–1114. (In Russian).
5. Muravskiy B.S., Gusakov V.S., Kruzhilina N.G., Shved A.G. 1965. *Fizika tverdogo tela. (Physics of the Solid State)*. 7(10): 3412–3413. (In Russian).
6. Zaikina N.B., Kuchkova E.I., Makhanova L.V., Fokina N.A. 2003. *Material dlya izgotovleniya lechebnykh odeyal. [The material for the manufacture of therapeutic blankets]*. Patent of RF No 2001129390. MPK A61N1/16. Stated 31.10.2001, published 27.04.2003. Bull. No 7. (In Russian).
7. Efremov V.I., Kulikovskiy V.I., Osipovich V.K., Spiridonov K.A., Yashin V.I. 1995. *Radiozashchitnaya odezhda. [Radioprotective clothing]*. Patent of RF No 5066020. MPK A41D13/00. Stated 22.06.1992, published 20.10.1995. Bull. No 5. (In Russian).