

- [2] Turucha S., Okamoto H. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 10. P. 543-545.
- [3] Aракова Y., Larson A., Poloski J., Yariv A. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. N 9. P. 561-563.
- [4] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Аксенов В.Ю., Ларионов В.Р. и др. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 10. С. 1771-1775.
- [5] Сейсян Р.П., Торопов А.А., Ларионов В.Р., Хвостиков В.П. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 17. С. 1548-1552.
- [6] Weiner J.S., Chemla D.S., Miller D.A.B., Haus H.A. et al. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 47. N 7. P. 664-667.
- [7] Miller D.A.B., Chemla D.S., Damen T.C., Wood T.H. et al. // IEEE J. of Quantum Electronics. 1985. V. QE-21. N 9. P. 1462-1476.
- [8] Turucha S., Kobayashi H., Horikoshi Y., Okamoto H. // Jpn. J. Appl. Phys. 1984. V. 23. N 7. P. 874-878.
- [9] Schmitt-Rink S., Chemla D.C., Miller D.A.B. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. N 10. P. 6601-6609.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
1 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
06

12 апреля 1989 г.

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА НА ЭЛЕКТРОННОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОЛИМЕРАХ

А.Н. Лачинов, В.А. Ковардаков,
А.Н. Чувыров

Существуют различные подходы к описанию механизма электронного переключения: инжекционный, перегретой, фазового перехода и др. [1]. В настоящей работе исследовано влияние объемного заряда на пороговые характеристики этого явления в полупроводниковых полимерах. Интерес к подобным объектам обусловлен заманчивой перспективой замены ими традиционных полупроводниковых материалов.

Для исследования были использованы полимеры класса полиарил-ленфталидов и полиантронов. Они привлекают внимание своей

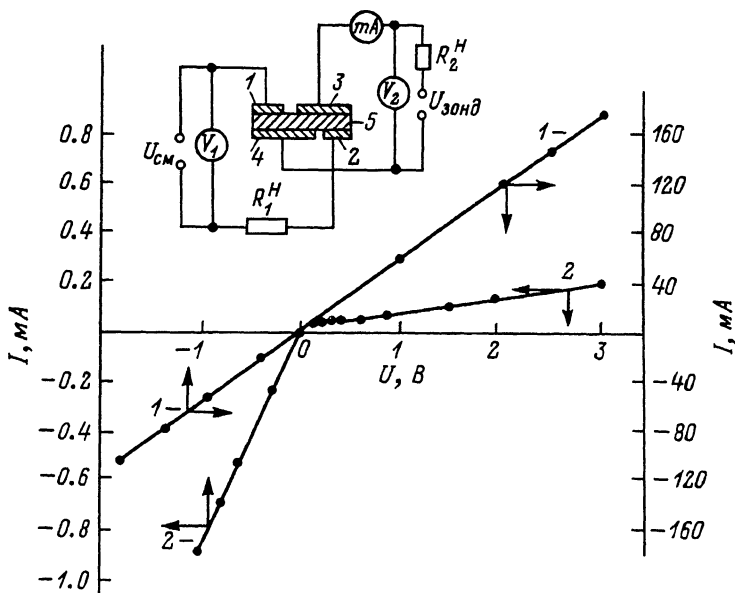


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика полупроводникового полимера при смене полярности напряжения. 1 - ВАХ образца, „переключенного“ в проводящее состояние, 2 - ВАХ исходного „непереключенного“ полупроводникового образца. На вставке - электрическая схема измерения ВАХ методом независимой двойной инжекции заряда. 1, 2 - электроды смещения, 3, 4 - зондирующие электроды, 5 - образец, R_1^H , R_2^H - сопротивления нагрузки измерительных цепей.

термостойкостью и аномальной зависимостью проводимости от температуры [2].

В качестве объектов исследования были использованы пленки органических полимеров толщиной от 50 до 150 мкм, полученные методом полива из раствора. Полупроводниковое состояние требуемой проводимости $\sim 10^{-2}$ См/см получалось в результате легирования пленок I_2 и SbF_5 . Для электродов в ячейке типа „сэндвич“ были использованы металлы Cr и Pt . Измерения проводились на системах типа Cr -образец- Cr и Pt -образец- Cr . Использовались прижимные и напыленные в вакууме электроды; существенного влияния материала электродов, а также вакуумирования образцов на результаты измерений не обнаружено.

Для исследования влияния величины объемного заряда на параметры переключения использовался метод независимой двойной инжекции заряда, который заключался в следующем: на поверхности пленки наносились по два электрода с каждой стороны таким образом, чтобы силовые линии электрического поля при включении

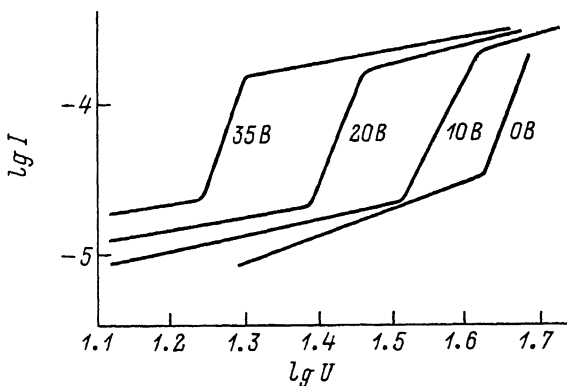


Рис. 2. ВАХ полимерного образца, измеренная между электродами 3, 4 при различных напряжениях смещения на электродах 1, 2 (см. рис. 1).

источников питания по схеме, показанной на рис. 1, пересекались в одной и той же части образца. При этом одна пара контактов играет роль инжектирующих (1, 2), а вторая пара – зондирующих (3, 4). ВАХ снимается с зондирующих контактов (3, 4) в зависимости от величины напряжения на электродах (1, 2). Гальваническая связь между источниками питания через поверхность образца не оказывала заметного влияния на процесс переключения, т.к. сопротивление между (1, 2) в канале смещения было значительно меньше сопротивления между электродами на одной стороне пленки, например, (1-3) или (2-4), максимальное отношение токов $I_{3,4} / I_{1,2}$ достигало $0.3 \cdot 10^{-1}$.

В исследованных образцах наблюдается эффект электронного переключения с бистабильной ВАХ. На рис. 1 показаны ВАХ образца при смене полярности приложенного напряжения. Кривая 1 соответствует ВАХ материала, „переключенного“ в проводящее состояние. ВАХ линейна и не зависит от смены полярности напряжения. Кривая 2 отвечает полупроводниковому состоянию – „непереключенному“. При переходе через 0 В ВАХ изменяет свой наклон таким образом, что при $U > 0$ сопротивление образца составляет 1.7×10^4 Ом, а при $U < 0$ – $1.2 \cdot 10^3$ Ом. Однако на переменном токе на частотах выше 1 Гц вентильного эффекта не обнаружено. По-видимому, нелинейность ВАХ обусловлена неравновесным распределением заряда, что может быть связано, как минимум, с двумя возможностями: либо поверхностная неоднородность из-за барьера металл-полупроводник, либо пространственный градиент, возникающий вследствие инжекции заряда с электродов.

На рис. 2 представлены ВАХ в зависимости от уровня инжекции заряда в объем образца с электродов смещения. Увеличение напряжения на электродах в цепи смещения приводит к росту тока между

Напряжение смещения, В	0	10	20	35
Пороговое напряжение, В	50	42	30	20
$\theta = I_1/I_2$	0.18	0.11	0.126	0.13
$P_{t,0}, \text{см}^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{17}$	$1.3 \cdot 10^{17}$	$1.0 \cdot 10^{17}$	$0.81 \cdot 10^{17}$
$\Delta F_0, \text{эВ}$		$2.5 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$

зондирующими электродами (3, 4) и уменьшению порогового напряжения. При этом изменение $U_{\text{пор}}$ от первоначального значения происходит лишь после достижения на электродах смещения некоторого порогового значения. Так, кривые ВАХ совпадают в интервале напряжений смещения 0–6 В. Увеличение $U_{\text{см}}$ свыше 6 В приводит к сдвигу порога переключения на ВАХ зондирующих электродов таким образом, что изменение $U_{\text{см}}$ на 25 В уменьшает $U_{\text{пор}}$ на 20 В.

Характер изменения ВАХ, измеренной между зондирующими электродами, и параметров объема образца проиллюстрирован таблицей, в которой

$$\theta = (N_c / g N_t) \exp[(E_t - E_c) / kT] = \frac{I_1}{I_2}, \quad (1)$$

где N_c – эффективная концентрация на краю зоны проводимости, N_t – концентрация ловушек, E_t – положение энергетического уровня ловушек, E_c – энергия дна зоны проводимости, g – фактор спинового вырождения электронов, I_1 – величина тока, соответствующая порогу ПЗЛ, I_2 – величина тока, соответствующая переходу от режима ПЗЛ к режиму безловушечного протекания тока. $P_{t,0} = U_{\text{пор}} e / e L^2$ – концентрация незаполненных ловушек, где ϵ – диэлектрическая проницаемость, e – заряд электрона, L – толщина образца. Уменьшение $U_{\text{пор}}$, как следует из таблицы, происходит за счет уменьшения концентрации незанятых ловушек $P_{t,0}$, что, очевидно, связано с дополнительной инжекцией носителей с электродов смещения и их захватом на свободных ловушках. Используя результаты таблицы и рис. 2, можно выяснить характер реорганизации зонной структуры в условиях дополнительной инжекции в объем полупроводника, оценив величину изменения положения квазиуровня Ферми. Для этого воспользуемся выражением (1) и соотношением для N_t [3]:

$$N_t = (P_{t,0} / g) \exp[(F_0 - E_t) / kT]. \quad (2)$$

После простых преобразований в предположении, что уровень Ферми изначально расположен в середине щели по подвижности,

относительное смещение ΔF_0 значительно меньше E_c и $N_c = \text{const}$, получим

$$\Delta F_0 = F_0' - F_0'' = \frac{1}{3} kT \left(\ln \frac{\theta_1}{\theta_2} - \ln \frac{P_{\xi,0}''}{P_{\xi,0}'} \right), \quad (3)$$

где ΔF_0 – смещение квазиуровня Ферми, F_0' и F_0'' – положение квазиуровня Ферми при двух концентрациях пространственного заряда, $\theta_1, P_{\xi,0}'$ и $\theta_2, P_{\xi,0}''$ – параметры, соответствующие двум уровням инжекции при двух разных переключениях. Полученные результаты оценки ΔF_0 помещены в таблицу: как видно, относительное изменение ΔF_0 сопоставимо по величине с kT , что по инжекционной модели должно приводить к смещению порогов переключения в область меньших напряжений.

Таким образом, измерения электронного переключения, проведенные в скрещенных электрических полях, позволили установить, что изменение пространственного заряда за счет независимой инжекции с дополнительных электродов в объем материала приводит к уменьшению концентрации незанятых ловушек и соответствующего смещения квазиуровня Ферми, что находится в хорошем согласии с инжекционной моделью переключения [4]. Необходимо отметить, что возможность управления током в зондовом канале посредством изменения объемного заряда при инжекции с двух независимых электродов может оказаться полезной для реализации в конкретных устройствах.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С ан д о м и р с к и й В.Б., С у х а н о в А.А. // За-
рубежная радиоэлектроника, 1976. Т. 9. С. 102.
- [2] Л а ч и н о в А.Н., З о л о т у х и н М.Г., Ж е р е -
б о в А.Ю., С а л а з к и н С.Н., Ч у в ы р о в А.Н.,
В а л е е в а И.Л. // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 9. С. 44.
- [3] Л а м п е р т М., М а р к П. В кн.: Инжекционные токи в
твердых телах. М.: Мир, 1973. С. 37.
- [4] К о с т ы л е в С.А., Ш к у т В.А. В кн.: Электронное
переключение в аморфных полупроводниках. Киев: Наук. думка.
1978. С. 68.

Поступило в Редакцию
18 ноября 1988 г.
В окончательной редакции
9 февраля 1989 г.