

Воспринимаемый на слух шелчок, свидетельствующий о переходе процесса взаимодействия в режим световой детонации, возникал при $F=2.9$ и 3.4 Дж/см² для магния и титана соответственно. Как видно из рис. 2, коэффициент энерговыделения магния и титана принимает значения больше единицы на величину, превышающую погрешность измерений, что указывает на дополнительное выделение энергии. Более значительное энерговыделение наблюдалось для эбонита. Коэффициент K этого материала достигал величины 1.5.

Таким образом, полученные результаты показывают, что при действии на твердое вещество импульсного лазерного излучения выделяется дополнительная энергия, величина которой может составлять значительную часть энергии лазерного импульса. Возможным механизмом наблюдаемого дополнительного энерговыделения являются экзотермические реакции окисления поверхности образца и испаренного вещества. В случае магния об этом свидетельствует осаждение на внутренней поверхности цилиндрической полости налета белого цвета, характерного для соединения MgO . Следует отметить, что теоретическая модель парофазного окисления металлов при действии коротких лазерных импульсов рассмотрена в [1].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Акимов А.Г., Бонч-Бруевич А.М., Гегарин А.П., Дорофеев И.А., Дорофеев В.Г., Казанский Л.П., Либенсон М.Н., Пудков С.Д., Широков В.Ф. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 18. С. 1093-1098.

Харьковский государственный университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию
20 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 18 26 сентября 1989 г.
06.2

ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С БАРЬЕРОМ ШОТКИ НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ $InGaAs/InP$

С.И. Радауцан, Г.Л. Ляху, А.П. Снигур,
В.А. Чумак, В.Г. Лапин, А.М. Маринова,
К.Г. Ноздрина

Гетероструктуры на основе фосфида индия и изопериодических с ним твердых растворах $In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y}$ являются весьма перспективными для создания быстродействующих цифровых и СВЧ аналоговых микроэлектронных приборов. Наибольший интерес представляет твердый раствор $In_{0.53}Ga_{0.47}As$, в

котором наблюдаются высокие значения подвижности электронов [1]. Имеются сведения о создании на основе гетероструктур $InGaAs/InP$ биполярных транзисторов с коэффициентом усиления ~ 500 [2], различных фотоприемников [3] и полевых транзисторов (ПТ) с затвором в виде $p-n$ перехода [4-5]. Например, авторы работы [4] описали ПТ с $p-n$ затвором, показывающий интегральную крутизну ~ 100 мСм/мм с предельной частотой до 30 ГГц. В [5] предложен аналогичный ПТ с крутизной до 150 мСм/мм и предельной частотой 20 ГГц. Дальнейшее повышение быстродействия ПТ связывают с заменой $p-n$ затвора на барьере Шоттки (БШ). Однако создание ПТБШ на $InGaAs/InP$ оказалось затруднительным, т. к. эффективная высота барьера Шоттки $Me-In_{0.53}Ga_{0.47}As$ оказалась низкой. В [6] показано, что высота БШ φ_B в структурах $Al-In_{0.53}Ga_{0.47}As$ и $Nb-In_{0.53}Ga_{0.47}As$ не превышает 0,2 и 0,1 эВ соответственно. Авторы [7] сообщили о создании БШ $Au-nIn_{0.53}Ga_{0.47}As$ с $\varphi_B = 0,65$ эВ. Повышенное значение φ_B было получено за счет предварительного окисления поверхности $InGaAs$ в токе O_2 при $T=100$ °C в течение 1 час. ПТБШ, изготовленные таким образом, имели крутизну ~ 100 мСм/мм при длине затвора 1 мкм, при концентрации электронов в канале $n \approx 10^{17}$ см $^{-3}$ с подвижностью 7000 см 2 /В с. Недавно опубликована работа [8], авторы которой сообщили о создании ПТБШ на гетероструктурах $InGaAs/InP$, причем для улучшения свойств БШ была использована многослойная металлизация затвора типа $Yb-Ni-Au$. Получено значение $\varphi_B \approx 0,55$ эВ. Наибольшее значение крутизны ПТБШ достигало 120 мСм/мм. Подвижность электронов в канале была 6300 см 2 /В·с (300 К) при их концентрации (1-2) 10^{17} см $^{-3}$.

В настоящей работе приводятся результаты исследования статических характеристик ПТБШ на гетероструктурах $InGaAs/InP$. Гетероструктуры получались методом жидкофазной эпитаксии на подложках $iInP(100)$ с $n \approx 10^{17}$ Ом·см. Кристаллизация слоев проводилась при $T \approx 650$ °C из пересыщенных растворов-расплавов в кассетах сдвигового типа. Толщина слоев находилась в пределах 0,15-0,2 мкм. Концентрация свободных электронов в нелегированных слоях, по данным холловских измерений, составляла (1-3) 10^{17} см $^{-3}$. Подвижности электронов при этом были 7500-8000 см 2 /В·с.

Транзисторные структуры изготавливались с применением методов оптической и электронной литографии. В исследованных образцах длина канала была 0,5-1,5 мкм при его ширине 75 мкм. Затвор изготавливался термическим распылением в вакууме Au или $Ti-Au$. С целью увеличения эффективности высоты БШ перед напылением металла подзатворная область окислялась методом анодирования в смеси водного раствора цитрата аммония и этиленгликоля. Для определения оптимальной толщины собственного окисла (СО) были исследованы тестовые структуры

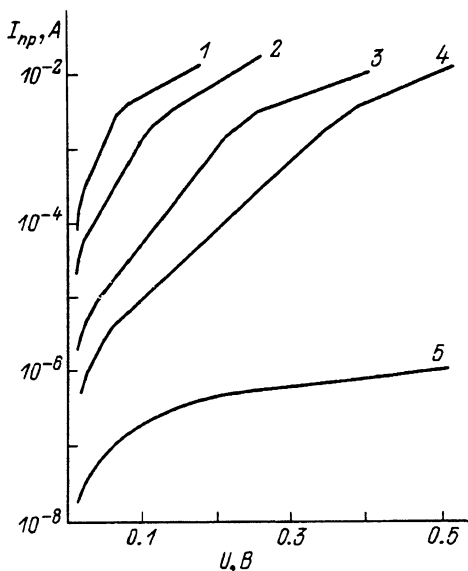


Рис. 1. Прямые ветви вольт-амперных характеристик поверхностно-барьерных структур $Au-CO-In_{0.53}Ga_{0.47}As/InP$ при различных толщинах анодного собственного окисла: 1 - без анодирования; 2 - $U_{ан} = 2.5$ В, $d_{ок} = 5$ нм; 3 - $U_{ан} = 4$ В, $d_{ок} = 7.5$ нм; 4 - $U_{ан} = 5$ В, $d_{ок} = 10$ нм; 5 - $U_{ан} = 10$ В, $d_{ок} = 20$ нм.

типа $Au-CO-InGaAs/InP$ и структуры ПТБШ с затвором $Ti-CO-InGaAs/InP$.

Типичные прямые ветви ВАХ поверхностно-барьерных структур представлены на рис. 1. Видно, что в отсутствие специально выращенных анодных собственных окислов (кривая 1) и для структур с толщинами СО $d_{ок} < 20$ нм (кривые 2-4), прямые ветви ВАХ представляют собой зависимости типа $I = I_s \times (\exp(U/nkT) - 1)$, где n -параметр неидеальности; для исследованных структур $n \approx 1.1-1.4$. Увеличение $d_{ок}$ до 20 нм приводит к уменьшению области линейности ВАХ, с одновременным сдвигом в сторону увеличения напряжения (кривые 2-4). При $d_{ок} > 20$ нм ВАХ принимают вид, типичный для МОП структур (кривая 5, рис. 1). Анализ ВАХ показал, что механизм токопрохождения в исследованных структурах при $d_{ок} < 20$ нм определяется термоэлектронной эмиссией носителей заряда, при этом слой СО является туннельно-прозрачным для них. Рассчитанные по модели термоэлектронной эмиссии значения эффек-

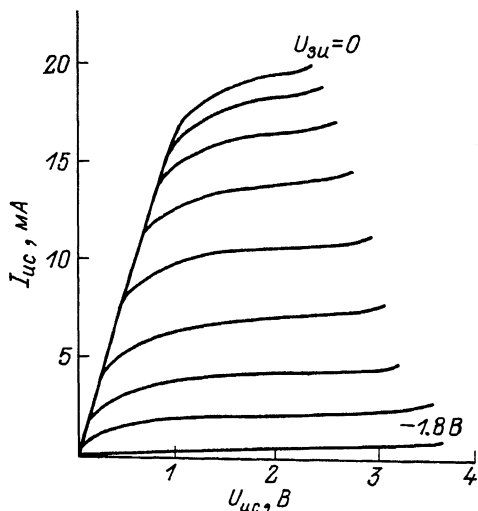


Рис. 2. Типичный вид статических выходных характеристик ПТБШ со структурой затвора $Ti-CO-In_{0.53}Ga_{0.47}As$ (толщина собственного окисла 10 нм); шаг изменения $U_{зи}=0.2$ В.

тивной и истинной высоты потенциального барьера составляли $\varphi_B^{эф} \approx 0.54$ эВ и $\varphi_B^{ист} \approx 0.42$ эВ. Следует отметить, что φ_B зависит от концентрации свободных носителей заряда $N_d - N_a$. При значениях $N_d - N_a$, равных $\sim 10^{16}$ и 10^{17} см $^{-3}$, $\varphi_B^{эф}$ составляло 0.54 и 0.51 эВ соответственно. Токи утечки при этом составляли $\sim 10^{-5}$ А/см 2 .

В транзисторных структурах ВАХ затворов имели аналогичный вид (рис. 2). Следует отметить, что специальная пассивация мезаструктуры не проводилась и значения токов утечки несколько выше, чем в работах [7, 8], но были меньше, чем для БШ на InP [8, 9]. Значение эффективной высоты барьеров Шоттки в затворах ПТБШ были $\sim 0.38-0.41$ эВ для $Ti-CO-InGaAs$ и 0.41 для $Au-CO-InGaAs$. Толщина CO во всех случаях была 7.5 нм.

Типичный вид статических ВАХ ПТБШ представлен на рис. 2. Для лучших образцов крутизна ВАХ составляла 250 мСм/мм, что примерно в 2 раза выше, чем для аналогичных транзисторов описанных в работах [7, 8]. Полное запирающее напряжение канала достигалось, как правило, при значениях напряжения затвор-исток 1.6-2.0 В. Характерной особенностью исследованных ПТБШ явилось то, что начиная со значений напряжения исток-сток порядка 2 В,

что соответствует величине напряженности поля внутри канала $\sim 2 \cdot 10^4$ В/см, у ряда образцов наблюдался второй участок роста тока через канал. Дальнейшее увеличение напряжения приводило к выходу транзистора из строя в результате разогрева. Можно предположить, что наблюдаемый рост тока связан с наступлением ударной ионизации в канале транзистора, но для окончательного объяснения необходимы дополнительные исследования.

Таким образом, показано, что в ПТБШ на гетероструктурах *InGaAs/InP* с затвором типа *Me-CO-n/n* могут быть достигнуты высокие значения крутизны выходных характеристик при токах утечки не хуже, чем на ПТБШ на основе *InP*. С учетом данных работы [8] по частотным характеристикам можно заключить, что есть несколько вариантов повышения эффективной высоты БШ на *InGaAs*, позволяющих создать быстродействующие ПТБШ с высоким значением крутизны выходных характеристик.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гореленок А.Т., Груздов В.Г., Ракеш К. и др. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 1. С. 35-43.
- [2] Канбелл Н., Вилсек Дж.С., Фонстад С.Г. // IEEE Electron. Dev. 1984. V. 5. №5. P. 173-175.
- [3] Корольков В.И. Быстродействующие высокоэффективные фотоприемники на основе гетероструктур. Фотоприемники и фотопреобразователи. Л., 1986. с. 6-36.
- [4] Шмитт Р., Хейме К. // Electron. Lett. 1985. V. 21. N 10. P. 449-450.
- [5] Селдерс Л., Вачс А.И., Юргенсон А. // Electr. Lett. 1986. V 22. P. 313-315.
- [6] Тамура Н., Иосхидэ А., Нута А. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. N 1. P. L7-L9.
- [7] Лоуаличе С., Л'Наридон А., Лесорре et al. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 57. N 7. P. 540-542.
- [8] Алферов Ж.И., Босый В.И., Гореленок А.Т. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 19. С. 1807-1810.
- [9] Радауцан С.И., Руссу Э.В., Кобзаренко В.Н. и др. // Микроэлектроника. 1988. Т. 17. В. 6. С. 500-503.