

05;06

Влияние гидрогенизации на фотопроводимость ионно-легированных структур арсенида галлия

© В.А. Кагадей, Ю.В. Лиленко, Л.С. Широкова,
Д.И. Проскуровский

ГНПП "Научно-исследовательский институт
полупроводниковых приборов", Томск
Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск

Поступило в Редакцию 26 августа 1999 г.

Установлено, что гидрогенизация в атомарном водороде ионно-легированных $n^+ - n - n_i$ -структур GaAs приводит к более быстрой релаксации фотопроводимости имплантированных слоев, к уменьшению влияния напряжения смещения, прикладываемого к n^+ -слою, на фотопроводимость и к улучшению характеристик транзисторов с барьером Шоттки и интегральных схем, изготовленных на их основе. Наблюдаемые явления, по-видимому, обусловлены образованием комплексов водорода с электрически активными центрами в GaAs.

Известно [1,2], что гидрогенизация в атомарном водороде монокристаллического Si и GaAs приводит к пассивации целого ряда мелких и глубоких центров. Большинство исследований по гидрогенизации GaAs выполнено на структурах, легированных в процессе эпитаксиального роста [3,4]. Значительно меньше исследованы структуры, полученные методом ионной имплантации. Ионно-легированный материал отличается от эпитаксиальных структур присутствием большого количества различного рода дефектов, которые ухудшают электрофизические характеристики материала. Поэтому исследования, направленные на изучение

возможности подавления электрической активности глубоких центров в ионно-легированном GaAs, представляют безусловный интерес. Недавно нами было показано, что гидрогенизация приводит к уменьшению паразитного обратного управления по подложке в структурах на основе ионно-легированного GaAs [5]. Представляет также интерес изучение влияния гидрогенизации на другие свойства таких структур. В настоящей работе впервые исследовано влияние гидрогенизации на фотопроводимость ионно-легированных структур GaAs, а также приведены данные, свидетельствующие о положительном влиянии гидрогенизации на параметры транзисторов с барьером Шоттки и интегральных схем, изготовленных на их основе.

В экспериментах использовались $n^+ - n - n_i$ -структуры, полученные имплантацией ионов Si^+ в подложки полуизолирующего GaAs. Концентрация электронов n_e в контактном n^+ -слое составляла $(1.5 - 2) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, а в активном n -слое — $3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Гидрогенизация данных образцов проводилась в потоке атомарного водорода на установке, описанной в [6,7]. Температура образцов при гидрогенизации составляла $T = 100 - 300^\circ\text{C}$, время обработки $t = 5 - 90 \text{ min}$, а давление водорода 10^{-2} Pa . Полное восстановление концентрации электронов в ионно-легированном слое после гидрогенизации производилось с помощью отжига при температуре $400 - 475^\circ\text{C}$ в течение $1 - 10 \text{ min}$ [5] и контролировалось с помощью вольт-фарядных измерений на установке с ртутным зондом. Измерение фотопроводимости $n^+ - n - n_i$ -структуры производилось бесконтактным способом по методу, предложенному в работах [8,9]. Кинетика фотопроводимости исследовалась из спада сигнала фотопроводимости U_f при возбуждении неравновесных носителей в структуре импульсным излучением красного светодиода (длительность импульса 1 s , длина волны $\lambda \cong 670 \text{ nm}$) при одновременном приложении обратного напряжения смещения к контактному n^+ -слою. Фиксация временной зависимости фотопроводимости производилась с помощью преобразования сигнала U_f в цифровой код, его хранения с последующим выводом кривой $U_f(t)$ на графопостроитель.

Зависимости, характеризующие кинетику сигнала фотопроводимости $U_f(t)$, представлены на рис. 1. В момент подачи импульса фотовозбуждения происходит резкое увеличение U_f , свидетельствующее о сильном уменьшении сопротивления $n^+ - n - n_i$ -структур, которое практически не изменяется в течение импульса. Для исходного образца (рис. 1, а) вид кривых, характеризующих восстановление начального значения

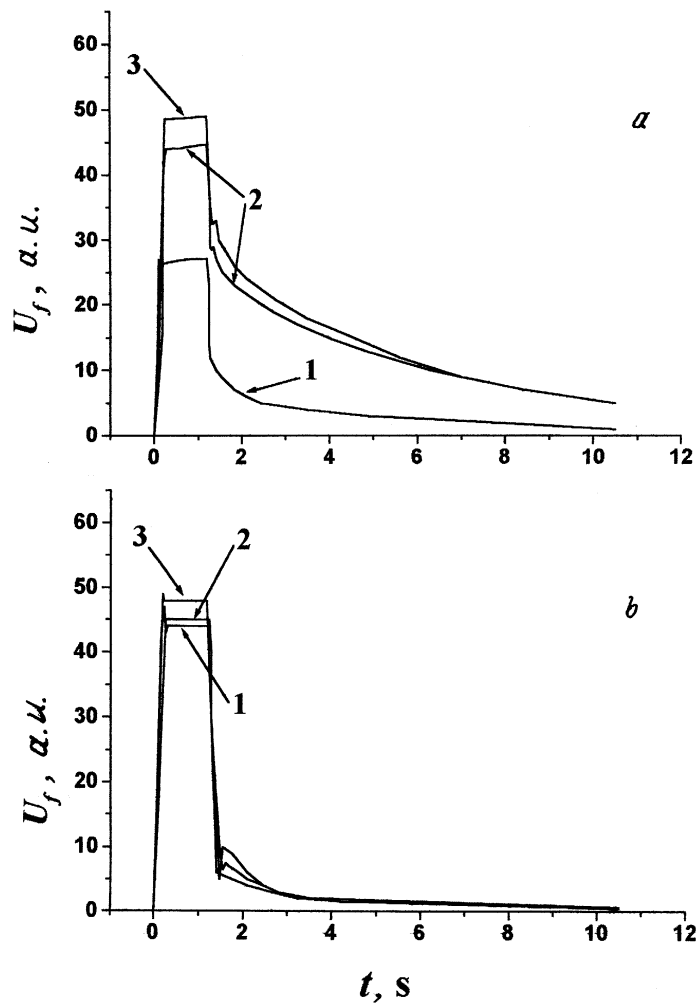


Рис. 1. Зависимости сигнала фотопроводимости U_f от времени t при фотовозбуждении и приложении напряжения смещения к n^+ -слою для исходного образца (a) и образца после гидрогенизации при $T = 150^\circ\text{C}$, $t = 30$ min и отжига (b); напряжение смещения 0 V (1), 10 V (2), 20 V (3).

сопротивления после окончания импульса, определяется двумя составляющими релаксации фотопроводимости — быстрой и медленной. В результате быстрой релаксации носителей заряда сразу после окончания импульса фотовозбуждения происходит резкое уменьшение сигнала фотопроводимости. Медленная релаксация носителей идет в течение нескольких секунд, о чем свидетельствует длительный спад сигнала U_f , наблюдаемый в течение $\cong 6-12$ s. Причем длительность спада сигнала увеличивается с ростом величины напряжения смещения, прикладываемого к n^+ -слою. После гидрогенизации (рис. 1, *b*) вид переднего фронта и "полочки" на кривых $U_f(t)$ практически не изменился, а вид кривых релаксации претерпел существенные изменения. Вид кривых свидетельствует о том, что в целом релаксация фотопроводимости стала проходить более быстро, причем величина сигнала, соответствующего медленной релаксации, существенно уменьшилась. Это указывает на уменьшение вклада процессов, определяющих медленную релаксацию. Кроме того, в результате гидрогенизации уменьшилось влияние напряжения смещения на длительность релаксации.

Отметим также, что для исходного образца наблюдается существенная зависимость амплитуды сигнала фотопроводимости U_f^* от величины прикладываемого к контактному n^+ -слою обратного напряжения смещения (рис. 1, *a*). Увеличение напряжения от нуля до 20 V приводит к росту величины U_f^* в 1.9 раза. После гидрогенизации (рис. 1, *b*) зависимость амплитуды U_f^* от напряжения смещения заметно уменьшается: аналогичное увеличение напряжения смещения от нуля до 20 V приводит к росту амплитуды сигнала только в 1.1 раза.

Ранее в работе [5] было показано, что подавление эффекта паразитного обратного управления по подложке при гидрогенизации ионно-легированных структур GaAs обусловлено пассивацией атомарным водородом глубоких центров, расположенных на границе раздела активный слой — подложка ($n-n_i$ -переход) и/или в полуизолирующей подложке. Известно [9], что медленная релаксация фотопроводимости в таких структурах связана с перезарядкой глубоких центров, расположенных в $n-n_i$ -переходе. Можно предположить, что наблюдаемое после гидрогенизации уменьшение вклада процессов, определяющих медленную релаксацию, и соответственно уменьшение зависимости амплитуды U_f^* от напряжения смещения являются следствием пассивации атомарным водородом этих глубоких центров. Возможно также, что в результате гидрогенизации подложка GaAs вблизи $n-n_i$ -перехода изменила тип

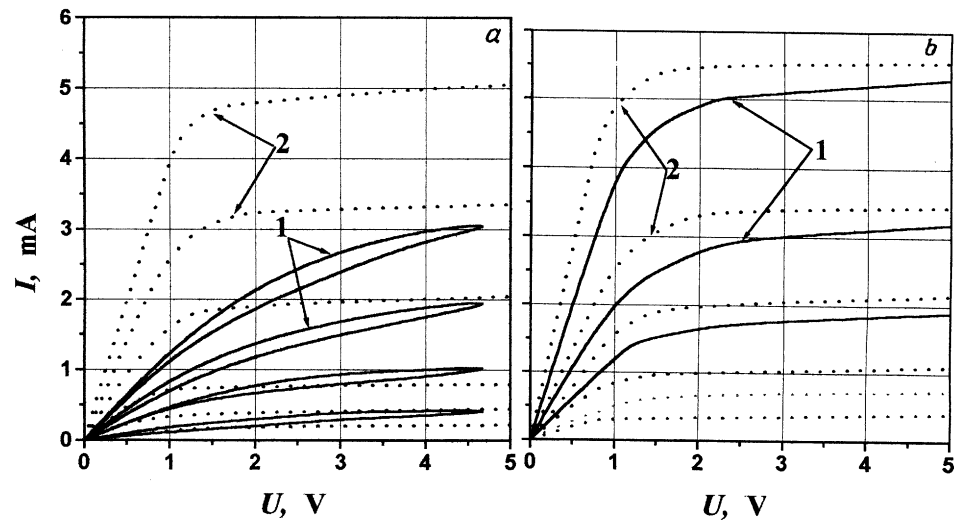


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики транзисторов, изготовленных на контрольной структуре (а), и транзисторов, изготовленных на структуре, подвергнутой гидрогенизации (b), без освещения (1) и с освещением (2) поверхности транзистора.

проводимости (например, ν -тип проводимости изменился на π -тип). При этом рекомбинационный уровень всегда будет заполнен дырками и инжекция неосновных носителей заряда (дырок) из n -слоя в $n-n_i$ -переход при фотовозбуждении не вызовет перезарядки этого уровня. С другой стороны, наблюдаемые закономерности могут быть обусловлены проникновением атомарного водорода в приповерхностные слои GaAs и образованием там новых центров [10], на которых может происходить быстрая рекомбинация носителей.

Возможности практического применения пассивации электрически активных центров с помощью гидрогенизации были исследованы при создании интегральных схем на полевых транзисторах Шоттки. В сравнительном эксперименте использовалась подложка полуизолирующего GaAs со сформированным n^+-n -слоем, имеющая исходно плохие электрофизические характеристики. Одна половина подложки подвергалась гидрогенизации в потоке атомарного водорода, другая половина служила контрольным образцом. Технологический маршрут изготовления интегральных схем был одинаков для образцов обоих типов. На рис. 2 приведены вольт-амперные характеристики тестовых транзисторов интегральных схем. Тестовые транзисторы, полученные на половине подложки, подвергнутой гидрогенизации, имеют лучшие характеристики по сравнению с контрольным образцом: большие значения токов насыщения и большую крутизну вольт-амперных характеристик. Так, крутизна вольт-амперных характеристик этих транзисторов в $\cong 1.5$ раза, а ток насыщения при напряжении сток-исток 3 В в $\cong 1.4$ раза больше, чем у контрольных транзисторов. Кроме того, для транзисторов, полученных на гидрогенизированном образце, характерна меньшая реакция вольт-амперных характеристик на освещение поверхности транзисторов. Интегральные схемы, изготовленные с использованием гидрогенизации, демонстрируют более высокую крутизну вольт-амперных характеристик рабочих транзисторов и более высокую стабильность работы схемы при повышении рабочей частоты.

Таким образом, в данной работе обнаружено, что гидрогенизация n^+-n-n_i ионно-легированных структур GaAs приводит к более быстрой релаксации фотопроводимости имплантированных слоев и к уменьшению влияния напряжения смещения, прикладываемого к n^+ -слою, на фотопроводимость. Установлено, что гидрогенизация оказывает положительное влияние на параметры транзисторов с барьером Шоттки и на характеристики интегральных схем.

Авторы благодарны В.Я. Принцу и Г.И. Айзенштату за плодотворные дискуссии.

Список литературы

- [1] *Chevallier J., Aucouturier M.* // Ann. Rev. Mater. Sci. 1988. V. 18. P. 219–256.
- [2] *Corbett J.W., Pearton S.J., Stavola M.* // Defect control in semiconductors / Ed. K. Sumino. Elsevier Science Publishers B.V. North-Holland, 1990. P. 53–63.
- [3] *Pearton S.J., Dautremont-Smith W.C., Chevallier J., Tu C.W., Cummings K.D.* // J. Appl. Phys. 1986 V. 59 (8). P. 2821–2827.
- [4] *Lagovski V., Kaminska M., Parsey J.M., Gatos Jr. H.C., Lichtensteiger M.* // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 41 (11). P. (11). P. 1078–1080.
- [5] *Кагадей В.А., Лыленко Ю.В., Проскуровский Д.И., Широкова Л.С.* // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 13. С. 37–41.
- [6] *Kagadei V.A., Proskurovsky D.I.* // J. Vac. Sci. Technol. A. 1998. V. 16 (4). P. 2556–2561.
- [7] *Кагадей В.А., Проскуровский Д.И., Регер С.Д., Ромась Л.М.* // Микроэлектроника. 1998. Т. 27. № 1. С. 10–15.
- [8] *Принц В.Я.* // Патент России № 2006984. Б.И. 30.01. 1994.
- [9] *Prinz V.Ya., Rechkinov S.N., Smoylov V.A.* // Inst. Phys. Conf. Ser. 1997. V. 160. P. 487–490.
- [10] *Божков В.Г., Кагадей В.А., Торхов Н.А.* // Труды VI международной конференции ”Актуальные проблемы электронного приборостроения – 98”. Т. 2. С. 206–207. Новосибирск, 23–26 сентября 1998.