

Влияние предварительной гидрогенизации на образование электронных ловушек в *n*-GaAs, облученном гамма квантами

Бумай Ю.А.^а, Коршунов Ф.П.^б, Курилович Н.Ф.^б,
Прохоренко Т.А.^б, Шешолко В.К.^б

^аБелорусский национальный технический университет

^бИнститут физики твердого тела и полупроводников НАН РБ.

Облучение полупроводниковых приборов и структур высокоэнергетическим излучением приводит к образованию радиационных дефектов, вызывающих деградацию их характеристик. Целью данной работы являлись исследования методом нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (НЕСГУ) влияния предварительной гидрогенизации монокристаллического объемного GaAs на процессы комплексообразования с участием радиационных дефектов при облучении γ -квантами.

Измерения спектров НЕСГУ выполнены на образцах монокристаллического GaAs *n*-типа, выращенного методом Чохральского, с концентрацией носителей заряда $6 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Барьеры Шоттки получены напылением Al. Перед напылением часть структур была обработана в водородной плазме тлеющего разряда с плотностью тока 27 мкА/см^2 при температуре 400°C в течение 4 часов. Облучение образцов с барьерами Шоттки γ -квантами проводилось при комнатной температуре до дозы $9.6 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Температурное сканирование при записи спектров НЕСГУ проводилось в интервале 77-400К.

В спектрах НЕСГУ исходного материал наряду с двумя пиками на 205К и 377К, обусловленными дефектами EL5 ($E_c - 0.38 \text{ эВ}$) и EL2 ($E_c - 0.74 \text{ эВ}$), в области температур 250 – 350К наблюдается широкая полоса, на которой заметны три пика (EX1, EX2, EX3). Подобная полоса ($U - \text{зона}$) наблюдалась в облученных или имплантированных материалах, содержащих области разупорядочения или скопления дефектов [1]. В нашем случае она может быть связана как с наличием макроскопических ростовых дефектов в объеме кристаллов, так и макроскопических дефектов под барьером Шоттки, оставшихся после механической шлифовки кристалла.

После гидрогенизации в спектре НЕСГУ исчезла широкая полоса в области температур 250К – 350К, за исключением дефекта EX1, наблюдаемого на 280К (возможно, EL3 ($E_c-0.58$ эВ)), причем концентрация данного дефекта уменьшилась почти на порядок. Пик на 205К (EL5) существенно уменьшился и вблизи его стал доминирующим дефект на 180К (вероятно, EL6 ($E_c-0.35$ эВ)).

В результате гидрогенизации существенно возросла (~ в три раза) концентрация дефекта EL2, содержащего в своем составе антиструктурный дефект As_{Ga} . Это связано, по-видимому, с высокой температурой гидрогенизации, так как при температуре выше 200°C становятся подвижными атомы междоузельного мышьяка As_i .

Для того чтобы выявить изменения в спектрах НЕСГУ, связанные с облучением, были использованы разностные спектры, полученные вычитанием из спектра облученного образца спектра исходного. Появление или удаление дефектов при облучении определяется наличием в них соответственно положительных и отрицательных пиков. Из разностных спектров, изображенных на рис.1а, видно, что в исходном образце с ростом дозы облучения возникают дефекты в области температур <100К и 200К и в то же время происходит "радиационный отжиг" электронных ловушек в области температур 308К (EX2) и 324К (EX3). Дефект с малой концентрацией, наблюдаемый в спектре на температуре 130К, образовался после первой дозы облучения, однако, с увеличением дозы облучения его концентрация не изменялась. Увеличение сигнала НЕСГУ на низкотемпературном краю спектра обусловлено появлением электронных ловушек E2 и E1, которые приписывают разным зарядовым состояниям одного и того же дефекта - одиночной V_{As} или коррелированной паре $V_{As} - As_i$ с большим межкомпонентным расстоянием. Дефект в области 204К, концентрация которого возрастает с дозой облучения, вероятнее всего является ловушкой E3. Для малых доз облучения заметно, что эта ловушка является составной, т.е. представлена двумя линиями, соответствующими дефектам с близкими энергиями и, возможно отражает перестройку одного и того же дефекта. Ловушку E3 связывают с коррелированной парой $V_{As} - As_i$ с малым межкомпонентным расстоянием.

Отметим, что традиционно в монокристаллах наблюдается стандартный набор вносимых облучением при комнатной температуре электронных ловушек E1-E5. После отжига выше 200°C становятся заметными вводимые с меньшей скоростью дефекты P1-P3 [2].

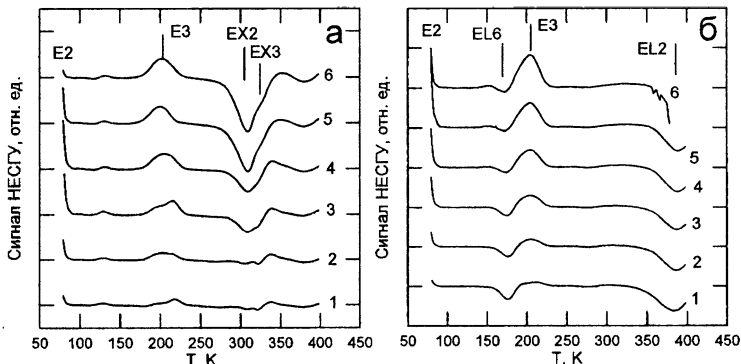


Рис.1. Разностные спектры НЕСГУ исходного (а) и гидрогенизированного (б) GaAs для доз облучения γ -квантами $1.6 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (1), $3.2 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (2), $4.8 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (3), $6.4 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (4), $8.0 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (5), $9.6 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ (6). Скорость эмиссии электронов $e_n = 160 \text{ с}^{-1}$

Особенностью спектра на рис.1а является удаление в результате облучения центров на 308К (EX2) и на 324К (EX3) на месте зоны, обусловленной макроскопическими дефектами. В этой области температур обычно облучением вводятся дефекты E4, P2 и P3. Данные ловушки представляют собой комплексы первичных дефектов, т.е. их образование требует дефектной реакции. Их отсутствие в разностном спектре НЕСГУ свидетельствует о том, что макроскопические дефекты на 300 - 350К являются стоками для первичных дефектов.

В гидрогенизированном материале (рис.1б) также наблюдалось возрастание концентрации ловушек E2 (E1) и E3. Необходимо отметить снижение на первой дозе облучения концентрации дефектов на 180К (EL6) и на 377К (EL2). Это, возможно, является проявлением эффекта “малых доз”. Концентрации дефекта EL2 далее практически не изменяется с дозой облучения, в то время как концентрации EL6 несущественно возрастает. Отметим также, что ловушек E4 и

E5, представляющих собой комплексы дефектов, в разностном спектре гидрогенизированного материала не наблюдается. Это согласуется с тем обстоятельством, что атомарный водород взаимодействует с радиационными дефектами, понижая таким образом вероятность образования комплексов с их участием.

На рис.2 приведены дозовые зависимости концентраций ловушек E3 в исходном (кривая 1) и гидрогенизированном (кривая 2) материале, а также удаляемой концентрации дефекта EX2 (кривая 3) в исходном GaAs. Концентрации этих ловушек наиболее сильно меняются при облучении.

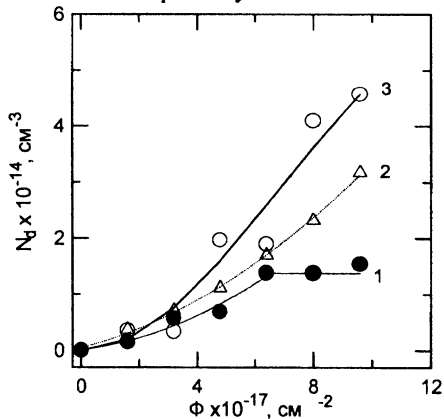


Рис.2. Дозовые зависимости концентраций E3 ловушек в исходном (1) и гидрогенизированном (2) GaAs, а также удаляемой концентрации дефекта EX2 в исходном GaAs (3)

Необходимо отметить, что дефект E3 вводится γ -квантами в исходный материал со скоростью $2.5 \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ до дозы $6.4 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ и, далее, скорость его введения существенно уменьшается. Скорость удаления облучением дефекта EX2 более чем в два раза превышает скорость введения E3 в исходном материале. Отсутствие изменения концентрации дефекта EL2, замедление скорости введения E3 и аннигиляция EX2 представляют собой связанные события и обусловлены уходом атомов междоузельного мышьяка на сток, которым является дефект EX2. В данном процессе участвуют, очевидно, и другие первичные дефекты, в том числе и E1 и E2. Кинетика

“радиационного отжига” дефекта EX2 как процесса его аннигиляции при взаимодействии с первичными радиационными дефектами достаточно хорошо (кривая 3, рис.2) описывается химической реакцией второго порядка, которая приводит к следующей зависимости концентрации аннигилировавших дефектов N от дозы облучения Φ : $N = N_0 [1 - \exp(-k\Phi^2)]$. Здесь N_0 – концентрация дефектов EX2 в исходном образце, k – коэффициент, определяемый скоростью аннигиляции.

Скорость введения E3 в гидрогенизированном материале составляет величину $\sim 3 \times 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ во всем интервале доз. Поэтому можно утверждать, что наличие водорода в материале не влияет на скорость введения данного центра. Это согласуется с тем обстоятельством, что водород должен влиять в первую очередь на формирование более сложных дефектов и, следовательно, оказывать наиболее сильное влияние на процессы комплексообразования в материалах, где имеются стоки дефектов.

Таким образом, установлено, что предварительная гидрогенизация эффективно влияет на кинетику образования комплексов дефектов при облучении посредством пассивации макроскопических дефектов в GaAs как стоков первичных радиационных дефектов.

Литература

1. N.Brudnyi, A.V.Gradoboev V.V.Peshev. The broad midgap deep-level transient spectroscopy band in proton (65 Mev) and fast neutron-irradiated n-GaAs. Phys. Stat. Sol. (b), 1999, Vol.212, p.229-239.
2. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Landolt – Bornstein, ed. By K.H.Hellwege, O.Modelung (Springer Verlag, Heildelberg, 1984).