

## ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ ПРЯМОГО ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА *pin*-ДИОДАХ В ПРОЦЕССЕ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

© В.Н.Афанасьев, Е.Ф.Уваров

Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Сапфир»»,  
105318 Москва, Россия  
(Получена 3 августа 1995 г. Принята к печати 31 августа 1995 г.)

Исследованы изменения прямого падения напряжения на кремниевых *pin*-диодах с шириной *i*-области  $w = 25-125$  мкм, обусловленные импульсным нейтронным облучением и быстрым отжигом радиационных дефектов. Экспериментальные результаты проанализированы и объяснены с учетом немонотонной зависимости отношения ширины *i*-области к длине диффузии, изменяющейся в процессе нейтронного импульса и последующего отжига.

Процессы быстрого отжига радиационных дефектов в полупроводниковых приборах в процессе импульсного нейтронного облучения изучались в основном по изменениям коэффициента усиления транзисторов  $h_E$  [1,2]. Этот параметр однозначно связан со временем жизни неравновесных носителей заряда  $\tau$ , которое весьма чувствительно к наличию дефектов в активной области приборов. Изменения параметров  $\Delta h_E(t)$ ,  $\tau(t)$  и фактора отжига  $AF(t)$  со временем  $t$  после нейтронного импульса носят монотонный характер.

В настоящей работе исследовались изменения прямого падения напряжения  $\Delta U_f(t)$  на кремниевых *pin*-диодах в процессе воздействия на них импульсом нейтронов со спектром деления и длительностью 8 мс. Начальное время жизни определялось методом «восстановления обратного сопротивления» [3]. В процессе и после импульсного нейтронного облучения через исследуемые *pin*-диоды протекал ток в прямом направлении. Изменение падения напряжения на диоде регистрировалось на первом канале запоминающего осциллографа С8-17 с компенсацией начальной величины  $U_f = U_f^{\min}$ , что позволило почти на порядок величины повысить точность измерений  $\Delta U_f$ . На втором канале осциллографа регистрировалась форма гамма-нейтронного импульса. Исследования проводились на *pin*-диодах с шириной *i*-области  $w = 25 \pm 5, 70 \pm 10$  и  $125 \pm 25$  мкм.

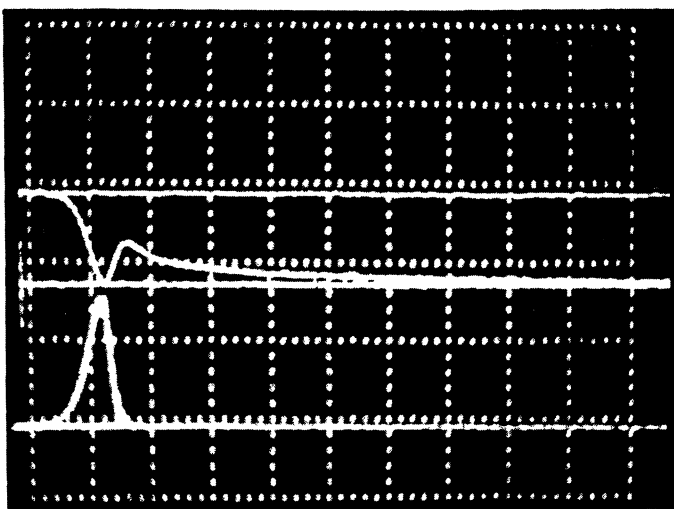


Рис. 1. Оциллограмма изменения прямого падения напряжения на диоде (верхний луч) в процессе, а также до и после воздействия нейтронного импульса (нижний луч). Масштаб по оси  $X$  — 10 мс/дел., по оси  $Y$  — 10 мВ/дел.

Наблюдавшиеся экспериментальные зависимости  $\Delta U_f(t)$  даже качественно отличались от вида зависимостей  $\Delta h_E(t)$  в работе [1,2], несмотря на то что в основе тех и других лежат процессы введения и отжига радиационных дефектов, приводящие к изменениям времени жизни  $\tau$ . Кроме обычных [1,2] и инверсных зависимостей  $\Delta U_f(t)$ , когда величина  $U_f$  сначала падает до некоторого минимального значения в конце нейтронного импульса, а затем несколько возрастает в течение времени, существенно превышающего длительность импульса, были зарегистрированы и более сложные зависимости (рис. 1), не отмечавшиеся ранее. Порядок появления этих зависимостей при последовательном воздействии на диоды серии импульсов следующий: при малых дозах нейтронного облучения  $\Phi$  наблюдались инверсные зависимости  $\Delta U_f(t)$ , при средних дозах — сложные (рис. 1) и при больших дозах — обычные зависимости  $\Delta U_f(t)$ , форма которых уже не изменялась при дальнейшем росте дозы нейтронного облучения. Таким образом, наблюдавшиеся нами изменения  $U_f(t)$  связаны в воздействии нейтронной компоненты, а не сопутствующего  $\gamma$ -излучения.

Как показал проведенный анализ, не только все наблюдавшееся в экспериментах виды зависимостей  $\Delta U_f(t)$ , но и последовательность их появления с ростом дозы нейтронного облучения могут быть объяснены, если учесть немонотонный характер изменения  $U_f$  на  $p\text{-}i\text{-}n$ -диодах при изменении длины диффузии неравновесных носителей заряда  $L$  или отношения  $w/L$ . Известно [4], что падение напряжения на  $p\text{-}i\text{-}n$ -диодах складывается из 2 составляющих: падения напряжения на  $p\text{-}i$ - и  $n\text{-}i$ -переходе (в первом приближении считающихся равными) и на  $i$ -области диода. Количественно зависимость  $U_f = f(w/L)$  может быть описана известными выражениями (175) и (176) из работы [4]. Экспериментальная проверка этих выражений при последовательном облучении  $p\text{-}i\text{-}n$ -диодов нейтронами со спектром деления, проведенная в

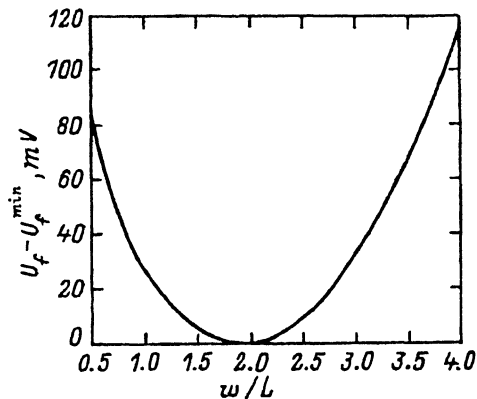


Рис. 2. Расчетная зависимость изменения величины прямого падения напряжения на диоде  $U_f - U_f^{\min}$  от отношения ширины  $i$ -области  $w$  и к диффузионной длине носителей заряда  $L$ .

работе [5], показала хорошее соответствие экспериментальных и расчетных зависимостей  $U_f(w/L)$  или  $U_f(\Phi)$ . Поэтому эти выражения были использованы нами для расчета зависимостей  $\Delta U_f = f(w/L)$  в диапазоне  $w/L = 0.5-4$  (рис. 2), характерном для наших экспериментов. Как видно из рис. 2, с ростом отношения  $w/L$  (т.е. с ростом дозы облучения и обусловленной этим уменьшением длины диффузии  $L$ ) величина  $U_f$  сначала уменьшается, проходит через минимум при значении  $(w/L)_{\min} = 1.9$  и затем монотонно возрастает. Начальные значения  $w/L$  для всех исследованных  $pin$ -диодов составляли  $1.2 \pm 0.2$ . Поэтому, если начальное значение  $w/L$  (до облучения), промежуточное (в конце нейтронного импульса) и конечное значение (после завершения процесса быстрого отжига в момент  $t$ ) меньше величины  $(w/L)_{\min} = 1.9$ , то зависимость  $U_f(t)$  будет инверсной. При больших дозах облучения, когда начальное, промежуточное и конечное значения  $(w/L) > 1.9$ , будут наблюдаться зависимости, идентичные описанным в работах [1,2]. Наконец, в тех случаях, когда начальное значение  $(w/L) < 1.9$ , а конечное  $(w/L) > 1.9$ , будут наблюдаться сложные зависимости, аналогичные представленным на рис. 1.

Естественное объяснение в рамках предложенной модели находит и последовательность появления разных видов зависимостей  $\Delta U_f(t)$  при воздействии серии нейтронных импульсов на  $pin$ -диоды, отмеченная выше. По экспериментальным (рис. 1) и расчетным (рис. 2) данным были восстановлены зависимости  $\tau(t)$  и  $AF(t)$  после нейтронного облучения и быстрого отжига исследованных  $pin$ -диодов. Они имели стандартный вид, описанный в работах [1,2], что подтвердило правильность проведенного нами анализа.

Поскольку исследованные зависимости  $\Delta U_f(t)$  наблюдались на  $pin$ -диодах с шириной  $i$ -области от 25 до 125 мкм и в диапазоне прямых токов от 1 до 100 мА, можно полагать, что полученные в работе результаты характерны для всех кремниевых  $pin$ -диодов, подвергнутых импульсному нейтронному облучению.

- [1] D. Binder, D.T. Butcher, J.R. Crepps, E.L. Hammer. IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-15, 84 (1968).
- [2] L.R. Murray, G.C. Messenger. IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-28, 4392 (1981).
- [3] В.Н. Афанасьев, А.П. Степовик, П.И. Филимончева, Ю.Ф. Тутуров. ФТП, 5, 1067 (1971).
- [4] В.С. Вавилов, Н.А. Ухин. *Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах* (М., Атомиздат, 1969) p. 224.
- [5] J.M. Swartz, M.O. Thurston. J. Appl. Phys., 37, 745 (1966).

Редактор Т.А. Полянская

## A dynamics of variation of forward voltage drop on *pin*-diodes under transient neutron irradiation

*V.N. Afanasiev, E.F. Uvarov*

Stok Company «NPP Sapfir», 105318 Moscow, Russia.

A study has been made of variations of forward voltage drop on silicon *pin*-diodes with the *i*-region width from 25 to 125  $\mu\text{m}$  under transient neutron irradiation and fast annealing of radiation defects. Experimental results are analysed and explained in terms of the non-monotonic dependence of the ratio of the *i*-region width to the diffusion length that changes throughout the neutron pulse and subsequent annealing.

---