

## ВЛИЯНИЕ ДОЗ ИМПЛАНТАЦИИ ФОСФОРА НА ВРЕМЯ ЖИЗНИ $\tau$ В p-Si

Л.С.Подвальный, С.Е.Плаксин  
Институт микроэлектроники и информатики РАН  
Российская Федерация, 150 007, Ярославль, Университетская ул., д.21,  
Факс / тел. (8-085-2) 11-65-52

Исследовалось влияние доз имплантации в диапазоне  $1 \times 10^{11} - 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$  на низкочастотные токовые шумы (НЧТШ) в тонких ионно-легированных слоях p-кремния (КДБ), имплантированного ионами фосфора с энергией 100 кэВ без термообработки пластин. Для частот меньше 2500 Гц при всех дозах облучения НЧТШ близок шуму типа  $1/f^\gamma$ , а показатель  $\gamma$  плавно изменяется от 1,15 до 2,13. Изменения показателя  $\gamma$  может быть объяснено моделью Лоренца для слабо взаимодействующих дефектных уровней. С увеличением  $\gamma$  возрастает и время  $\tau_i$  релаксационных процессов на всем дозовом диапазоне.

### I. Введение

Низкочастотные токовые шумы в материалах микроэлектроники привлекают к себе внимание в силу того, что определяют пороговую и обнаруживательную способность различного рода сенсоров или детекторов разнообразных физических величин и влияют на шумы полупроводниковых электронных устройств в области низких частот.

Цель работы - исследование влияния доз имплантации на низкочастотный токовый шум в тонких ионно-легированных слоях в кремнии КДБ-10, имплантированного ионами фосфора с энергией 100 кэВ без термообработки пластин. В работе используется шумовой метод - метод фликкер-шумовой спектроскопии (ФШС). Метод ФШС основан на определении спектра шума, т.е. зависимости спектральной плотности флуктуации (СПФ)  $S_{p_s}(f)$  слоевого сопротивления  $\rho_s$  от частоты  $f$ . Облучение проводилось дозами в интервале  $\Phi = 1 \times 10^{11} - 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ .

Измерения низкочастотных токовых шумов проводились высокоточным двухкомбинаторным четырехзондовым методом, ограничивающим источники погрешности [1] с дополнительным техническим усовершенствованием [2]. В качестве зондового пробника использовалась четырехзондовая головка фирмы "Kuliske and Soffa" (Великобритания) с эквидистантно расположенными в линию зондами из карбида вольфрама. Флуктуации напряжений на потенциальных зондах в определенной полосе частот измерялись селективным нано-вольтметром типа UNIPAN-P-237, собственный шум которого не превышал 200 нВ, был мал в сравнении с токовыми шумами исследуемых образцов и не превышал 5%.

### II. Основная часть

Измерения вольт - амперных характеристик при двух направлениях тока показали, что для небольших токов (0,5-100 мкА) они линейны. Четырехзондовые измерения низкочастотных токовых шумов в диапазоне частот  $f = 10 - 20000 \text{ Гц}$  подтвердили, что при значениях протекающего через образец тока менее  $2 \cdot 10^{-5} \text{ А}$  контакты являются малошумящими, т.е. устранены маскирующие влияния шума контактов при измерении

флуктуаций. Расчеты относительной СПФ  $S_{p_s}(f)/\rho_s^2$  поверхностного сопротивления  $\rho_s$  и фактора  $\beta_s$  в зависимости от  $f$  проводились по специально разработанной программе в среде DELPHY. Зависимости спектральной плотности флуктуаций  $S_i(f)$  тока  $I$ , снятые на частоте  $f = 40, 170, 640, 2500 \text{ Гц}$ , подчиняются зависимости  $S_i \sim I^2$ , т.е. в области тока  $I = 0,5 - 100 \text{ мкА}$  выполняется закон Ома. На этом основании можно перейти к относительному спектру

$$S_i / I^2 \equiv S_{p_s} / \rho_s^2 = S_s(f)$$

и интерпретировать его как проявление равновесных флуктуаций сопротивления.

Интенсивность низкочастотных токовых шумов в области исследуемых частот  $f = 10 - 20000 \text{ Гц}$  можно представить в виде

$$S_s(f) = A/f + B, \quad (1)$$

где  $A$  и  $B$  - эмпирические коэффициенты для всех доз имплантации.

Обозначив через  $f_c$  частоту при которой интенсивность  $1/f$  равна интенсивности белого шума, получим, что  $f_c = A/B = 2,5 \times 10^3$  для всех доз имплантации. Для частот  $f < f_c$  в исследуемых нами тонких ионно-легированных слоях спектры токовых шумов близки к шуму типа  $1/f^\gamma$  и могут быть описаны эмпирическим соотношением Вандамме-Хоухе:

$$S_s(f) = \alpha / N f^\gamma \quad (2),$$

где  $\alpha$  - параметр, характеризующий интенсивность НЧТШ,

$\gamma$  - показатель формы спектра,

$N$  - число носителей заряда в образце.

Значения показателя  $\gamma$  лежали в пределах 1,15 - 2,13. Объяснением шума, описываемого выражением (2), может быть предположение о наличии в тонко-легированных слоях различных релаксационных процессов с широким спектром времен релаксации  $\tau$ , охватывающим много порядков изменения  $\tau$ . Изменение показателя  $\gamma$  в формуле (2) с увеличением доз имплантации может быть объяснено моделью Лоренца для  $m$  слабо взаимодействующих дефектных уровней:

$$S_s(f) = (4 / n^2 V) \left( \sum_{i=1}^m \frac{\Delta n_i^2 \tau_i}{[1 + (2 \pi f \tau_i)^2]} \right),$$

где  $\Delta n_i^2$  - флуктуация концентрации носителей

заряда  $i$ -ого дефектного уровня,  
 $n$  - равновесная концентрация носителей заряда,  
 $V$  - объем образца.  
 С возрастанием доз имплантации в тонких ионно-легированных слоях увеличивается показатель  $\gamma$  с 1,15 до 2,13 и, следовательно, возрастает время  $\tau_i$  релаксационных процессов.

### III. Заключение

Зависимость НЧТШ и фактора  $\beta_s$  от доз имплантации исследовалась в частотном диапазоне 40 - 2500 Гц и представлена, в частности, при частоте 170 Гц. С повышением доз имплантации (с дозы  $10^{14} \text{ см}^{-2}$ ) НЧТШ увеличивается на порядок, а фактор  $\beta_s$  (порядка  $10^{-12}$ ) практически неизменен на всем дозовом диапазоне ( $1 \times 10^{11} - 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ).

### Список литературы

1. L.S.Podval'niy. Distribution of a Sheet Resistance in Laser ZMR SOI-structures // Sensors for Control of Irradiation: Abstracts of IV-th NEXUSPAN Workshop (Odessa. May 30-31. 1997.). Odessa: Publ. House Od. I. I. Mech. St. Univ. 1997. P. 60.
2. К.И.Ксенофонтов, М.И.Маковийчук, Е.П.Паршин, В.А.Рекшинский. Анализ погрешностей зондового метода при измерении электро-флуктуационных параметров полупроводниковых структур // Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах: Мат. докл. науч.-техн. семинара (метрология, диагностика, технология). (Москва. 2-5 дек. 1996.). М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 1997. С. 105 - 110.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда ФЦНТП, подпрограмма "Перспективные технологии и устройства микро- и нанoeлектроники" (грант №02.04.1.3.33.Э.9).

## INFLUENCE OF CASE DOSES OF AN IMPLANTATION OF PHOSPHORUM TO A LIFETIME $\tau$ IN p-Si

L.S.Podval'niy, S.YU.Plaksin  
*Institute of microelectronics and informatics of RAS*  
 150 007, Yaroslavl, University street, 21  
 Fax / ph. (8-085-2) 11-65-52

The influence of case doses of an implantation in a range  $1 \times 10^{11} - 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$  on low frequency current hums (LFCH) in thin ion-doped stratum of p-silicon, implantation by ions of phosphorus with energy 100 keV without heat treatment of slices was researched. For frequencies there are less than 2500 Hz at all exposure doses LFCH close to hum such as  $1/f^2$ , and the metric  $\gamma$  smoothly varies from 1,15 up to 2,13. Changes of a metric  $\gamma$  can be explained by model of the Lorentz for weakly interacting defect levels. With increase  $\gamma$  the time  $\tau_i$  of relaxational processes increases also. The dependence LFCH and factor  $\beta_s$  from case doses of an implantation was researched in a frequency range 40-2500 Hz and represented, in particular, at frequency 170 Hz. With rise of case doses of an implantation (from a case dose  $10^{14} \text{ см}^{-2}$ ) LFCH is augmented by the order, and the factor  $\beta_s$  (about  $10^{-12}$ ) practically is constant on all case doses a range ( $1 \times 10^{11} - 5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ).

