

## ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СВЧ ПОЛЕЙ НА ВРЕМЯ ЖИЗНИ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА В КРЕМНИИ

Д. Е. Абдурахимов, В. Л. Верещагин, В. П. Калинушкин, В. А. Никитин,  
М. Г. Плоппа, М. Д. Райзер

*Методами СВЧ релаксометрии показано, что облучение импульсными СВЧ полями кремния n-типа приводит к изменению времени жизни неравновесных носителей.*

В /1/ сообщалось об изменении параметров примесных скоплений в кремнии и германии при воздействии СВЧ импульсов наносекундной длительности. В данной работе приводятся результаты исследования влияния аналогичного облучения на время жизни носителей тока в бездислокационном кристалле кремния, выращенного методом Чохральского. Образцы были легированы фосфором ( $\rho \sim 4,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ) и представляли собой стандартные пластины диаметром 76 мм, толщиной 400 мкм, полированные с двух сторон с оптической точностью. Эффективное время жизни носителей тока  $\tau$  измерялось с помощью СВЧ релаксометрии /2/. Параллельно контролировалось влияние СВЧ импульсов на параметры примесных скоплений. Эксперименты проводились, как и в /1/, с помощью метода малоуглового рассеяния света /3/.

Источником СВЧ излучения служил релятивистский гиротрон /4/, который работал в режиме одиночных импульсов на длине волны 8 мм при длительности импульса 15 нс. Плотность потока энергии в месте расположения образца составляла  $7 \cdot 10^5 \text{ Вт/см}^2$ , напряженность электрического поля  $\sim 2,5 \cdot 10^4 \text{ В/см}$ , магнитного  $\sim 8 \cdot 10^3 \text{ А/м}$ .

Доза облучения образцов постепенно увеличивалась — первоначально образец облучался 25-ю импульсами, затем проводилось дополнительное облучение 35-ю импульсами, затем еще 40 импульсами. После каждой серии импульсов образцы исследовались с помощью указанных выше методов. Время между облучением и измерениями составляло несколько часов.

На рис. 1 приведены диаграммы рассеяния света образцом кремния до и после серии последовательных облучений СВЧ импульсами. Диаграмма рассеяния исходного кристалла была типичной для этого класса образцов — она характеризовалась относительно слабым рассеянием света на примесных скоплениях с характерными размерами  $a \sim 8 \text{ мкм}$  и на так называемых "малых" скоплениях /3/ с  $a \lesssim 2 \text{ мкм}$ . Время жизни носителей тока  $\tau$  составляло  $(8,3 \pm 0,07) \text{ мкс}$ . Облучение 25-ю импульсами практически не меняет диаграмму рассеяния — лишь при малых углах  $\Theta < 3^\circ$  появляется рассеяние, обусловленное крупными дефектами. Такая доза облучения не

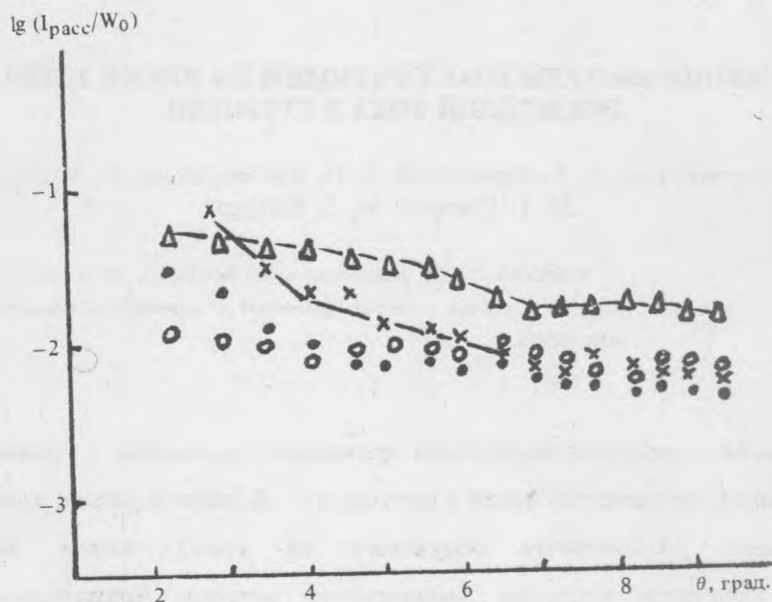


Рис. 1. Диаграммы рассеяния кремния *n*-типа до и после облучения СВЧ импульсами:  $\circ$  — до облучения,  $\tau \cong (8,3 \pm 0,07)$  мкс;  $\bullet$  — после облучения 25-ю импульсами,  $\tau \cong (8,3 \pm 0,07)$  мкс;  $\times$  — после облучения 60-ю импульсами (25 + 35);  $\tau \cong (8,5 \pm 0,07)$  мкс;  $\Delta$  — после облучения 100 импульсами (25 + 35 + 40);  $\tau \cong (9,1 \pm 0,07)$  мкс.

меняет и величину  $\tau$ . Дополнительное облучение 35-ю импульсами приводит к росту рассеяния скоплениями с  $a \sim 16$  мкм (при  $\theta < 6^\circ$ ). Наблюдается также небольшое увеличение  $\tau$  до  $(8,5 \pm 0,07)$  мкс. Добавление еще 40 импульсов приводит к росту интенсивности рассеяния скоплениями и с  $a \sim (9 \div 10)$  мкм и "малыми" дефектами. В этом случае наблюдается уже заметное увеличение  $\tau$  до  $(9,1 \div 0,07)$  мкс. Изменения сохраняются, по крайней мере, в течение месяца.

Таким образом, результаты данной работы позволяют утверждать, что облучение СВЧ импульсами наносекундной длительности приводит не только к изменению параметров примесных скоплений, но и к изменению времени жизни носителей тока в кремнии, причем наблюдается корреляция между интенсивностью рассеяния света примесными скоплениями и величиной  $\tau$ .

Отметим, что похожий результат был получен в работе /5/ при исследовании влияния электронного облучения с энергией электронов  $\sim 25$  кэВ на параметры примесных скоплений и величину  $\tau$  в таком же материале. В этой работе было высказано предположение, что эти изменения обусловлены перестройкой глубоких метастабильных центров в мелкие. Это может привести к росту концентрации носителей в примесных скоплениях и к изменению параметров глубоких рекомбинационных центров.

Возможно, аналогичные процессы могут происходить и в случае воздействия импульсного электромагнитного поля СВЧ диапазона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахимов Д. Е. и др. Микроэлектроника, **20**, 21 (1991).
2. Заварицкая В. А. и др. ФТП, **18**, 2180 (1984).
3. Калинушкин В. П. Труды ИОФАН, **4**, 3 (1986).
4. Бондарь Ю. Ф. и др. ППЭ, **1**, 25 (1974).
5. Великов Л. В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 39 (1990).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 29 марта 1991 г.