

## 1/f-ШУМ И РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ

*Н.Н.Ткаченко*

*Индустриальный институт*

*330600 Запорожье, Украина*

Поступила в редакцию 25 ноября 1993 г.

После переработки 12 января 1994 г.

Экспериментально обнаружена взаимосвязь между интенсивностью 1/f-шума и временем жизни неосновных носителей в поликристаллах.

Проблема установления природы низкочастотного 1/f-шума в полупроводниках все еще остается предметом оживленной дискуссии, несмотря на долгую историю вопроса. В последнее время были получены интересные факты, указывающие на возможность весьма глубокой связи между поведением 1/f- и генерационно-рекомбинационного шума [1], которые заставляют с повышенным интересом отнестись к высказанным некогда идеям о влиянии долговременной релаксации кристаллической решетки, сопровождающей генерационно-рекомбинационные процессы, на механизм формирования 1/f-шума [2]. Однако все эти рассуждения относились к монокристаллическим полупроводникам, в поликристаллах же последовательные исследования подобного характера практически не проводились.

Было проведено исследование связи между избыточным шумом и интенсивностью рекомбинационных процессов в образцах *p-n*-переходов, диодов Шоттки, резисторов, изготовленных на основе поликристаллического кремния. Замечательной особенностью структуры исследованных образцов является наличие в них таких дефектов, как границы зерен, что во многих случаях полностью определяет свойства структур, изготовленных на их основе.

*p-n*-переходы изготавливали методом диффузии бора в пластины поликристаллического кремния, полученного методом литья [3], диоды Шоттки – напылением золота на такие же пластины. Резисторы создавали как на основе этих же пластин, так и с использованием пленок кремния, напыленных на окисленные кремниевые подложки [4].

Спектры обнаруженного в исследованных образцах избыточного токового шума можно было аппроксимировать зависимостью  $S_i(f) \sim a/f + b/f^2$ , где  $S_i(f)$  – спектральная плотность мощности токового шума,  $f$  – частота,  $a, b$  – коэффициенты, зависящие от времени жизни неосновных носителей заряда  $\tau$  в образцах: при  $\tau \leq 3 \cdot 10^{-9}$  с коэффициент  $b = 0$ ,  $a \sim 1/\tau^{2,5-3}$ . При  $\tau \geq 3 \cdot 10^{-9}$  значения коэффициентов изменялись:  $a \sim 1/\tau^{1/2}$ ,  $b$  становился несколько отличным от нуля и слабо зависел от  $\tau$ . Другими словами, в спектрах 1/f-шума появлялись слабые отклонения от линейной зависимости, напоминающие генерационно-рекомбинационные изломы.

Попытка характеризовать обнаруженный 1/f-шум параметром  $\alpha$ , эквивалентным постоянной Хоуге  $\alpha_H$ , строго говоря, не вполне корректна в случае такого неоднородного материала, как поликристаллический кремний. Все же, расчет  $\alpha$  по методике, аналогичной [5], позволил определить, что при концентрациях легирующей примеси  $N \leq 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$   $\alpha \approx \alpha_H$ , однако по мере роста

$N$  параметр  $a$  уменьшался так сильно, что при  $N = 10^{19} \text{ см}^{-3}$  он был почти на два порядка меньше  $\alpha_H$ .

На рис.1 приведены зависимости  $S_i(f)$  – измеренной на частоте  $f = 20 \text{ Гц}$  (кривая 1) и времени жизни неосновных носителей заряда  $\tau$  (кривая 2) в структурах – от размеров зерен  $d$  в поликремниевых образцах. Время жизни измеряли методом модуляции проводимости при инжекции из точечного контакта, а также рассчитывали  $\tau$  по результатам измерения фотомагнитного эффекта. Величину  $S_i$  в диодах измеряли в диапазоне больших токов, где, как было установлено [3], шум оказывается обусловленным флуктуациями сопротивления базы диодов. Обратим внимание на то, что данные, приведенные на рис.1, свидетельствуют в пользу существования корреляции между поведением  $S_i$  и  $\tau$ .

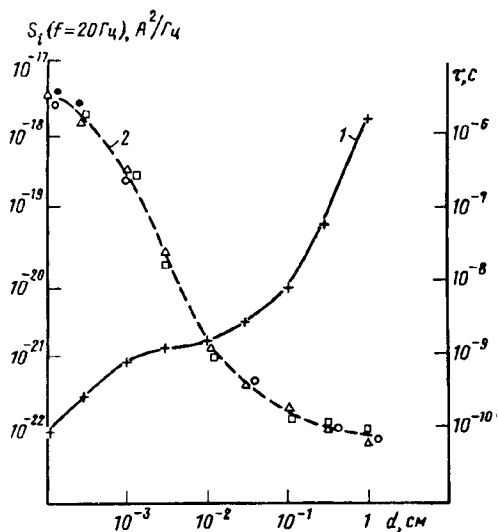


Рис.1

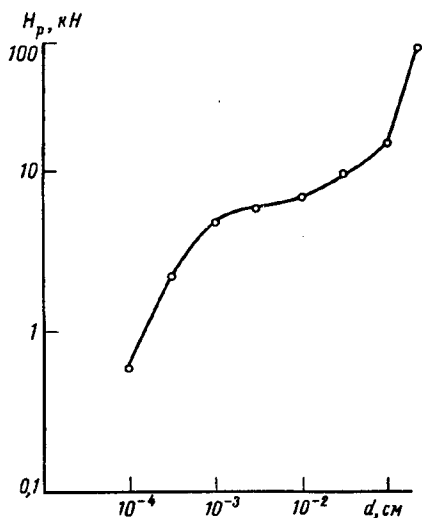


Рис.2

Рис.1. Зависимость электрофизических параметров от размера зерен  $d$  поликристаллических пластин: кривая 1 – зависимость времени жизни  $\tau$  от  $d$ , кривая 2 – зависимость  $S_i(f)$  – спектральной плотности мощности токового шума, измеренной на частоте  $f = 20 \text{ Гц}$ , от  $d$ :  $\Delta$  –  $n$ - $p$ - $n$ -переходы,  $\circ$  – диоды Шоттки,  $\square$  – резисторы, изготовленные из пластин,  $\bullet$  – напыленные резисторы

Рис.2. Зависимость величины разрушающей нагрузки  $H_p$  от размеров зерен  $d$  пластин поликристаллического кремния

Что касается возможного влияния состояния кристаллической решетки на механизм формирования избыточного шума, отметим следующее. Отличие кристаллической решетки поликристаллов от монокристаллических материалов, в том числе и в отношении рекомбинационной активности, характеризуется, в основном, наличием границ зерен, размерами зерен, и следовательно, протяженностью границ между ними. Весьма чувствительной к этим факторам может оказаться механическая прочность полупроводниковых пластин, которая, вообще говоря, зависит от общей длины дефектов (например, трещин), развивающихся в них [6]. В поликристаллическом материале представляется логичным ожидать зависимости механической прочности от размеров зерен поликристаллических образцов. На рис.2 приведена зависимость механической

прочности пластин, использованных в экспериментах, от размера зерен  $d$ . Видно, что полученные результаты свидетельствуют в пользу того, что поведение зависимости механической прочности образцов от размеров зерен, отражающее степень дефектности кристаллической решетки поликристаллов [6], носит характер, подобный зависимостям  $S_i(f)$  и  $\tau$  от  $d$ . Это заставляет думать, что высказанные ранее соображения о взаимосвязи состояния кристаллической решетки и величины  $1/f$ -шума в поликристаллах являются определяющими при формировании токового шума.

Обнаруженная в ходе этой работы связь шумовых и рекомбинационных характеристик кремниевых структур различных типов заставляет с новым интересом отнестись к идеям о влиянии состояния кристаллической решетки – наличия границ зерен, пострекомбинационных релаксаций решетки – на природу  $1/f$ -шума. Корреляция шумовых, рекомбинационных и прочностных характеристик исследованных образцов наводит на мысль о существовании глубоких причин взаимосвязи природы  $1/f$ -шума со структурными свойствами поликристаллов.

Сложность структуры исследованных образцов: наличие границ зерен, потенциальных барьеров на них, а также появление сложной структуры спектров шума, не позволяет утверждать, что модель Хоуге полностью реализуется в исследованных поликристаллических образцах. Однако совпадение рассчитанного эффективного параметра Хоуге для слаболегированных исследованных образцов с традиционно используемой величиной постоянной Хоуге для монокристаллического материала означает, что при низких уровнях легирования в поликристаллических образцах не исключена генерация шума по модели Хоуге.

В заключение хочу поблагодарить аспиранта Г.П.Коломойца и студентов А.Довбню, Д.Сидорова за помощь в проведении опытов.

- 
1. N.B.Lukyanchkova, M.V.Petrichuk, N.P.Garbar et al., *Physica B* 167, 201 (1990).
  2. K.L.Ngai, *Phys. Rev.* 22, 2066 (1980).
  3. Н.Н.Ткаченко, УФЖ 32, N3, 443 (1987).
  4. М.Ткаченко, G.Kolomojets, and N.Melentjetv, *Proc. of Int. Conf. "Microelectronics'92"*. Published by SPIE, USA. 1783, 223 (1992).
  5. H.C. de Graaf and M.T.M.Huybers, *J. Appl. Phys.* 54, 2504 (1983).
  6. Ю.А.Концевой, Ю.М.Литвинов, Э.А.Фаттахов, Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур. М.: Радио и связь, 1982.