

ПОДАВЛЕНИЕ СВЕТОМ ШУМА $1/f$ В КРЕМНИИ

Гук Е. Г., Дьяконова Н. В., Левинштейн М. Е.

Вследствие исключительно важной роли, которую кремний играет в современной полупроводниковой электронике, большинство экспериментов по исследованию шума $1/f$ в полупроводниках выполнено именно на Si. Однако даже для Si результаты, полученные в разных работах, противоречивы. Величина параметра Хоуге α [1] отличается на ~ 4 порядка и лежит в пределах от

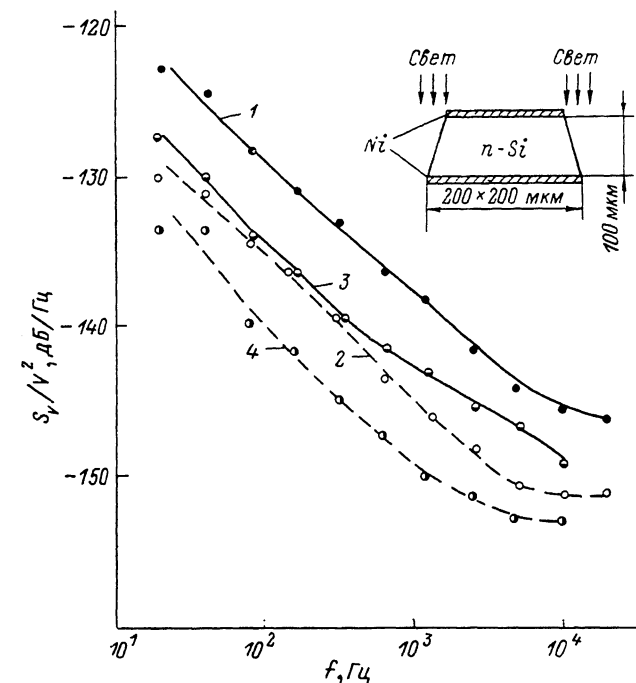


Рис. 1. Зависимость относительной спектральной плотности шума от частоты для одного из образцов.

1 — после лазерной резки; 2 — то же при освещении, 3 — после обработки поверхности в кипящей щелочи, 4 — то же при освещении. На вставке — форма и размеры образцов.

$\sim 10^{-6}$ [2] до $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ [3]. Качественно различается также ход температурных зависимостей α [3, 4]. Так, в работе [4] величина α возрастала на ~ 2 порядка при понижении температуры от 300 до 100 К. В работе [3], напротив, величина α уменьшалась на порядок при снижении температуры от 300 до 77 К.

Хорошо известно, что очень часто такого рода противоречия обусловлены процессами на поверхности. Действительно, исследования роли поверхности в формировании шума $1/f$ также приводят к неоднозначным результатам [2, 5-7]. Так, в работе [5] сделан вывод об определяющей роли поверхности в формировании фликкер-шума. Результаты работ [2, 6] приводят к выводу об отсутствии какого-либо влияния поверхности на уровень шума $1/f$. Наконец, в работе [7] наблюдался шум $1/f$ как объемной, так и поверхностной природы.

Обычно принимается, что шум $1/f$ имеет объемную природу, если найден способ обработки поверхности, резко уменьшающей уровень шума, и если в результате такой обработки измеренное значение $\alpha \leq 10^{-3}$.

В настоящей работе установлено, что в кремнии даже при величине $\alpha \sim 2 \cdot 10^{-4}$ шум $1/f$ может иметь поверхностное происхождение и что свет с энергией фотонов $\epsilon_{\text{ф}}$, превышающей ширину запрещенной зоны ϵ_g в Si, существенно уменьшает уровень шума $1/f$.

Исследовались образцы объемного n -Si, полученного методом бестигельной зонной плавки, с удельным сопротивлением $\rho \sim 300 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ($n_0 \approx 1.6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$) и плотностью дислокаций $\sim 3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. Форма и размеры образцов показаны на вставке к рис. 1. Перед нанесением контактов с обеих сторон исходной пластины создавался поверхностный n^+ -слой толщиной $0.5 \div 1 \text{ мкм}$ с концентрацией доноров (фосфор) $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Контакты изготавливались осаждением и последующим вжиганием Ni в вакууме при температуре $550 \text{ }^\circ\text{C}$. Пластина разрезалась на образцы с помощью лазерной резки.

Типичный спектр низкочастотного шума для образца непосредственно после лазерной резки до какой-либо обработки представлен кривой 1 (рис. 1). Видно что спектр имеет форму шума $1/f$ с постоянной Хоуге $\alpha \approx 10^{-3}$. Уже это значение α меньше, чем величины α , наблюдавшиеся в работах [3, 8, 9].

Освещение образцов светом обычной лампы накаливания существенно уменьшает уровень шума (кривая 2). Спектр по-прежнему имеет вид, типичный для шума $1/f$; постоянная Хоуге α составляет для кривой 2 $\sim 2 \cdot 10^{-4}$.

На кривой 3 показана частотная зависимость спектральной плотности шума после травления образца в кипящей щелочи, промывки и сушки. Из сравнения кривых 2 и 3 видно, что наблюдавшееся уменьшение уровня шума при

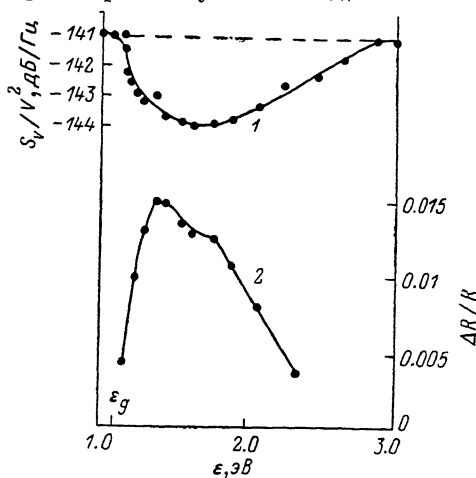


Рис. 2. Зависимость относительной спектральной плотности шума S_V/V^2 (1) и изменение сопротивления (2) от энергии фотонов падающего на образец света.

1 соответствует частоте анализа 640 Гц. Штриховой линией показан уровень шума в неосвещенном образце.

освещении было связано с подавлением светом поверхностной компоненты шума $1/f$.

Кривая 4 соответствует зависимости $S_V/V^2(f)$ при освещении образца после травления. Видно, что свет по-прежнему подавляет шум $1/f$, уровень шума при освещении после травления соответствует величине $\alpha \sim 6 \cdot 10^{-5}$.

Для некоторых образцов при освещении после травления величина α уменьшалась до $\sim 2 \cdot 10^{-5}$.

Из сравнения кривых 1, 2 и 3, 4 видно, что характер влияния света на шум после травления не изменился. Это обстоятельство позволяет предположить, что и после травления наблюдающийся шум $1/f$ имеет поверхностную природу. Косвенным подтверждением этого является вид зависимости S_V/V^2 от энергии фотонов (рис. 2, кривая 1). Кривая 1 получена при освещении образца светом, пропущенным через монохроматор типа МДР-6. Видно, что наибольший вклад в эффект подавления шума вносят фотоны с энергией $\epsilon_\phi \approx 1.6 \text{ эВ}$, которым соответствует глубина проникновения $\sim 5 \text{ мкм}$.

Кривая 2 показывает спектральную зависимость относительного изменения сопротивления образца при освещении $\Delta R/R$. Видно, что максимальное значение $\Delta R/R \leq 1.5 \%$. Поэтому наблюдающееся уменьшение шума не может быть связано с увеличением числа носителей в объеме образца.

Отметим, что наблюдающаяся в Si картина качественно отличается от ситуации, описанной в работе [10], где объемная компонента шума $1/f$ в GaAs подавлялась светом с энергией фотонов $\epsilon_\phi \approx \epsilon_g$.

Из полученных результатов следует, что освещение Si светом с энергией квантов $\epsilon_\phi > \epsilon_g$ может служить эффективным тестом, позволяющим выделить поверхностную компоненту шума $1/f$. Установленные результаты находятся в качественном противоречии с интерпретацией природы шума $1/f$ в Si, развиваемой в работах [11, 12]. Наконец, из полученных данных следует, что величина

постоянной Хоуге для объемной компоненты шума $1/f$ в обычном дислокационном кремнии меньше $\alpha \sim 2 \cdot 10^{-5}$, если в процессе приготовления образцов в материал не вносятся структурные дефекты [6].

Авторы признательны С. Н. Вайнштейну и С. Л. Румянцеву за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

- [1] Hooge F. N., Kleinpenning T. G. M., Vandamme L. K. G. — Rep. Prog. Phys., 1981, v. 44, N 5, p. 480—532.
- [2] Clevers R. H. — In: Proc. 8 Int. Conf. Noise in Phys. Syst. Rome, 1985, p. 411—414.
- [3] Luo J., Love W. F., Miller S. C. — J. Appl. Phys., 1986, v. 60, N 9, p. 3196—3198.
- [4] Bosman G., Zijlstra R., Van Rheeunen A. — Physica, 1982, v. 112B, N 3, p. 188—196.
- [5] Black R. D., Weissman M. B., Restle P. J. — J. Appl. Phys., 1982, v. 53, N 9, p. 6280—6284.
- [6] Vandamme L. K. G., Oosterhoff S. — J. Appl. Phys., 1986, v. 59, N 9, p. 3169—3174.
- [7] Алекперов С. А., Гусейнов Н. Я., Каджар Ч. О., Салаев Э. Ю. — ФТП, 1986, т. 20, в. 8, с. 1549—1551.
- [8] Bisschop J., Cuijpers J. L. — Physica, 1983, v. 123B, N 1, p. 6—10.
- [9] Stroocken J. T. M., Kleinpenning T. G. M. — J. Appl. Phys., 1976, v. 47, N 10, p. 4691—4692.
- [10] Вайнштейн С. Н., Левинштейн М. Е., Румянцев С. Л. — Письма ЖТФ. 1987, т. 13, в. 11, с. 645—648.
- [11] Palenskis V., Shoblitskas Z. — Sol. St. Commun., 1982, v. 43, N 10, p. 761.
- [12] Шоблицкас З., Паленскис В. — Лит. физ. сб., 1985, т. 25, № 3, с. 88—97.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 8.12.1987
Принято к печати 18.12.1987

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ НА СЕЧЕНИЕ ЕЕ ФОТОИОНИЗАЦИИ (ИОН Zn^- В ГЕРМАНИИ)

Галкин М. Г., Курбатов В. А., Соловьев Н. Н.

Концентрационная зависимость сечения фотоионизации примесных центров в полупроводниках до настоящего времени не обсуждалась. Имеющиеся в литературе экспериментальные данные немногочисленны и не носят систематического характера, что не позволяет надежно установить наличие либо отсутствие такой зависимости. Вычисленные на основании приводимых в некоторых публикациях данных (см., например, [1, 2]) величины сечений фотоионизации для образцов с различной концентрацией исследуемых примесных центров имеют, однако, существенный разброс, который, по-видимому, нельзя объяснить только погрешностями оптических измерений.

В настоящей работе представлены результаты измерений сечения фотоионизации иона Zn^- в германии в непрерывной области спектра поглощения ($\hbar\omega \geq E_I$, где $E_{IZn^-} = 86.5$ мэВ [3]) для образцов с концентрацией цинка от $2 \cdot 10^{15}$ до 10^{17} см $^{-3}$.

Для повышения надежности оптических измерений были дополнительно проведены измерения поглощения на фиксированной длине волны CO_2 -лазера, а для точного определения величин концентраций примесей обработка результатов холловских измерений проводилась с учетом влияния случайного поля [4].

Измерения спектральной зависимости поглощения образцов проводились при азотных температурах с помощью решеточного спектрофотометра. Образцы имели площадку 16×6 мм и толщину от 0.3 до 1 мм в зависимости от концентрации примеси. Для компенсации отражения, а также поглощения кристаллической решеткой в канал опорного луча помещался образец из чистого германия.

Для измерений поглощения с использованием CO_2 -лазера использовались образцы клиновидной формы, чтобы устранить интерференцию излучения при