

## ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ $1/f$ -ШУМА В $n$ - $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Бакши И. С., Гринь В. Ф., Карачевцева Л. А.,  
Кадалашвили М. З., Сальков Е. А., Хижняк Б. И.

Существует два альтернативных мнения о влиянии точечных дефектов на уровень  $1/f$ -шума в полупроводниках и металлах. Согласно одному из них, дефекты (ловушки, локализованные состояния, рассеивающие центры) являются причиной  $1/f$ -шума; повышенному количеству дефектов соответствует более высокий уровень шума (см., например, [1-3], а также обзоры [9, 10]). Согласно второму, распространенному мнению, высказанному в [11],  $1/f$ -шум обусловлен флуктуациями исключительно фононной компоненты подвижности; добавление других (по предположению, «нешумящих») компонент рассеяния, в частности, на примесях снижает относительный уровень шума (см. обзоры [12, 13]). В данной работе приводятся экспериментальные данные, показывающие справедливость первого из двух указанных мнений.

Параметры образцов

№ образца	$x$	$n \cdot 10^{-14}$ , см <sup>-3</sup>	$\mu \cdot 10^{-5}$ , см <sup>2</sup> /В · с	№ образца	$x$	$n \cdot 10^{-14}$ , см <sup>-3</sup>	$\mu \cdot 10^{-5}$ , см <sup>2</sup> /В · с
1	0.19	4.4	4.4	7	0.22	10.0	1.6
2	0.22	3.1	3.1	8	0.22	2.4	1.9
3	0.22	2.1	2.6	9	0.22	1.2	1.3
4	0.22	1.1	1.7	10	0.21	3.0	1.1
5	0.22	0.8	2.1	11	0.21	3.0	0.94
6	0.21	1.2	2.2				

Исследованы монокристаллы  $n$ - $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x \approx 0.2$ ) (см. таблицу), полученные методом твердотельной рекристаллизации в различных технологических партиях. Размеры образцов после полировки и химического травления составляли  $(2 \div 10) \cdot 10^3 \times (20 \div 800) \times (20 \div 200)$  мкм. Омические контакты получены электрохимическим осаждением индия на свежепотравленную поверхность.

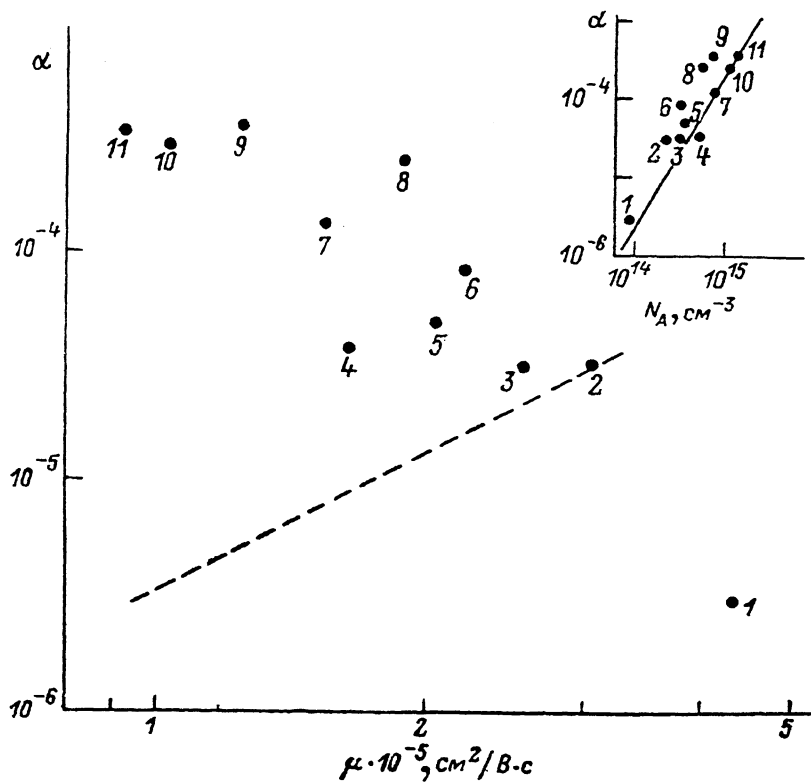
Эксперименты проводились при температуре 85 К. В таблице приведены значения концентрации носителей  $n$  и холловской подвижности  $\mu$ , определенные из холловских измерений в слабом магнитном поле. Спектральная плотность шума измерялась анализатором спектра С4-48 2- и 4-зондовым методом. При этом контролировались однородность распределения источников шума по длине образцов и отсутствие контактных шумов. В диапазоне 20 Гц  $\div$  20 кГц избыточный шум состоял из  $1/f^i$  и генерационно-рекомбинационной (ГР) составляющих. Значения показателя  $\gamma = 1.0 \pm 0.1$ . Ниже уровень  $1/f$ -шума характеризуется параметром Хоуге [12]  $\alpha = [S_V(f)/V^2] fn\Omega$ ,  $S_V(f)$  — спектральная плотность флуктуаций напряжения,  $V$  — постоянное напряжение на образце,  $\Omega$  — его объем. При расчетах использованы значения  $S_V(f)$  на частоте  $f = 30$  Гц, на которой вклад ГР компоненты не превышал 5  $\div$  20 %.

Пары образцов разной толщины, вырезанные из соседних участков пластин (2, 3 — из одного кристалла и 10, 11 — из другого), обладали совпадающими в пределах погрешности измерений значениями параметра  $\alpha$ . Следовательно, наблюдаемый шум имел объемное, а не поверхностное происхождение.

Уровень шума образцов разных технологических партий лежал в пределах  $\alpha \approx 3 \cdot 10^{-6} \div 4 \cdot 10^{-4}$ , причем меньшие значения наблюдались в образцах с более высокой подвижностью (см. рисунок). Согласно данным металлографического анализа, возрастание  $\alpha$  при снижении  $\mu$  не связано с увеличением плотности дислокаций  $n_d$  и малоугловых границ зерен  $n_{gb}$ . Так, для существенно разли-

чающихся по уровню шума образцов 5 и 9 значения  $n_d$  и  $n_{pb}$  были близки и составляли соответственно  $n_d \approx 4 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$  и  $n_{pb} \approx 20 \text{ см}^{-1}$ , а для образцов 6 и 11 —  $n_d \approx 6 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$ ,  $n_{pb} \approx 10 \text{ см}^{-1}$ .

Подвижность носителей в  $n\text{-CdHg}_{1-x}\text{Te}$  при азотных температурах определяется в основном рассеянием на ионизированных центрах, полярных оптических фононах и неоднородностях сплава [14, 15]. Температурные зависимости подвижности, исследованные в диапазоне 4.2–200 К на нескольких характерных образцах, были типичными для данного материала (см., например, [14]) и показали, что разброс значений подвижности при 85 К обусловлен различием концентраций заряженных центров. Согласно гипотезе о порождении 1/f-шума решеточным рассеянием, уровень шума должен снижаться при увеличении



Зависимость уровня 1/f-шума от величины холловской подвижности.

Цифры около точек — номера образцов. Штриховая линия — закон  $\alpha \propto \mu^2$ . На вставке — зависимость уровня шума от концентрации акцепторов, рассчитанной по [15]. Линия — закон  $\alpha \propto N_A^2$ .

вклада рассеяния на ионах по закону  $\alpha \propto \mu^2$  [11–13]. Однако реализуется, как показано на рисунке, качественно иная ситуация: уровень шума растет с увеличением вклада ионного рассеяния.

Определению природы дефектов, ответственных за 1/f-шум в полупроводниках, может способствовать обнаруженная нами связь между уровнем шума  $\alpha$  и концентрацией акцепторов  $N_A$  (корреляция между  $\alpha$  и концентрацией доноров в наших опытах отсутствует). Из вставки к рисунку видно, что экспериментальные данные удовлетворительно аппроксимируются зависимостью  $\alpha \propto N_A^2$ . Величины  $N_A^2$  вычислены из измерений  $\mu$  и  $n$  на основе теоретических расчетов  $\mu$  ( $n$ ) [15]. Ошибка при вычислении  $N_A$ , определяемая точностью модели ( $\sim 20\%$  [15]) и экспериментальной погрешностью (тоже  $\sim 20\%$ ), в образцах с относительно высокой подвижностью может достигать 100%. Поэтому полученные данные не позволяют, строго говоря, исключить более слабую зависимость, в частности линейную  $\alpha \propto N_A$ . Последняя, однако, маловероятна, так как предполагает слишком малые и вряд ли достижимые при данной технологии [16] значения  $N_A \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$  в малозумящих образцах.

В настоящее время неясно, чем обусловлена обнаруженная зависимость  $\alpha = \alpha(N_A)$ . Возможно, что, согласно модели Робинсона [5], уровень шума квадратично зависит от концентрации  $N_f$  элементарных источников шума («флуктуаторов»), причем  $N_f \propto N_A$ . Вполне вероятно, впрочем, и обратная ситуация:  $\alpha \propto N_f$ , что предполагается в большинстве моделей  $1/f$ -шума, а  $N_f \sim N_A^2$ . Последнее будет иметь место в том случае, если, например, флуктуаторы будут представлять собой акцепторные комплексы. Для решения этого вопроса необходимы дальнейшие исследования.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Nelkin M., Harrison A. K. // Phys. Rev. B. 1982. V. 26. N 12. P. 6696—6705.
- [2] Pellegrini B. // Phys. Rev. B. 1982. V. 26. N 4. P. 1791—1797.
- [3] Якимов А. В. // Изв. вузов СССР. Радиофизика. 1980. Т. 23. В. 2. С. 238—243.
- [4] Коган Ш. М., Нараев К. Э. // ФТТ. 1982. Т. 24. В. 11. С. 3381—3388.
- [5] Robinson F. N. H. // Phys. Lett. 1983. V. 97A. N 4. P. 162—163.
- [6] Жигальский Г. П., Бакши И. С. // Радиотехн. и электрон. 1980. Т. 25. В. 4. С. 771—780.
- [7] Black R. D., Restl P. J., Weissman M. B. // Phys. Rev. B. 1983. V. 28. N 4. P. 1935—1943.
- [8] Scofield J. H., Mantese J. V., Webb W. W. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. N 2. P. 736—742.
- [9] Dutta P., Horn P. M. // Rev. Mod. Phys. 1981. V. 53. N 3. P. 497—516.
- [10] Коган Ш. М. // УФН. 1985. Т. 145. В. 2. С. 285—328.
- [11] Hooge F. N., Vandamme L. K. J. // Phys. Lett. 1978. V. 66A. N 4. P. 315—316.
- [12] Hooge F. N., Kleinpenning T. G. M., Vandamme L. K. J. // Rep. Progr. Phys. 1981. V. 44. N 5. P. 479—532.
- [13] Hooge F. N. // Noise in Physical Systems and  $1/f$  Noise / Ed. by A. D'Amico, P. Mazzetti. N. Y., 1986. P. 27—33.
- [14] Dubowski J. J., Dietl T., Szymańska W., Gałazka R. R. // J. Phys. Chem. Sol. 1981. V. 42. N 5. P. 351—362.
- [15] Гороховский И. Р., Лауринавичюс А. К., Пожела Ю. К. и др. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 11. С. 1998—2001.
- [16] Schaake H. F., Tregilgas J. H., Beck J. D. et al. // J. Vac. Sci. Techn. 1985. V. A3. N 1. P. 143—149.

Институт полупроводников  
АН УССР  
Киев

Получено 22.07.1988  
Принято к печати 28.10.1988

ФТП, том 23, вып. 3, 1989

### АНОМАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ СТЕБЛЕРА—ВРОНСКОГО В ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ ПЛЕНКАХ $\alpha$ -Si : H

Курова И. А., Мочалова Д. А., Лупачева А. Н.

Эффект Стеблера—Вронского (ЭСВ) — уменьшение проводимости под влиянием освещения белым светом пленок  $\alpha$ -Si : H — широко исследуется в последние годы [1—4]. К настоящему времени установлено, что под влиянием освещения в пленках образуются оборванные связи кремния [5]. Вследствие этого уровень Ферми в нелегированных или слабо легированных пленках смещается в глубь зоны и проводимость их уменьшается [2]. В [6] в слабо легированных бором пленках  $\alpha$ -Si : H ( $B_2H_6$  в газовой фазе  $\sim 10^{-3} \div 10^{-4}$  ат%)  $p$ -типа с энергией активации темновой проводимости  $E_a = 0.7$  эВ наблюдался аномальный ЭСВ — увеличение проводимости пленки после освещения при комнатной температуре. Авторы связывают этот эффект с возникновением аккумуляционного слоя с высокой проводимостью у зарывшейся отрицательно поверхности пленки после освещения ее белым светом. В [7] аномальный ЭСВ наблюдался в компенсированных В и Р пленках  $\alpha$ -Si : H  $n$ -типа. Природа этого эффекта авторам представлялась неясной, так как в результате образования отрица-