

НЕМОНОТОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ШУМА $1/f$ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОДСВЕТКИ В GaAs

Дьяконова Н. В.

Недавно в работе [1] при исследовании низкочастотного шума в кремнии была обнаружена немонотонная зависимость величины спектральной плотности шума от интенсивности подсветки. Наблюдаемое явление было объяснено в рамках модели объемного шума $1/f$ в полупроводниках [2]. Эта модель объясняет также все основные экспериментальные результаты по исследованию характера влияния света на шум $1/f$ в GaAs [3, 4]. Однако измеренная ранее [3] зависимость величины шума в GaAs от интенсивности падающего на образец света на частоте анализа 20 Гц немонотонного характера, предсказываемого моделью, не носила.

В настоящей работе на более высоких частотах анализа в GaAs обнаружено

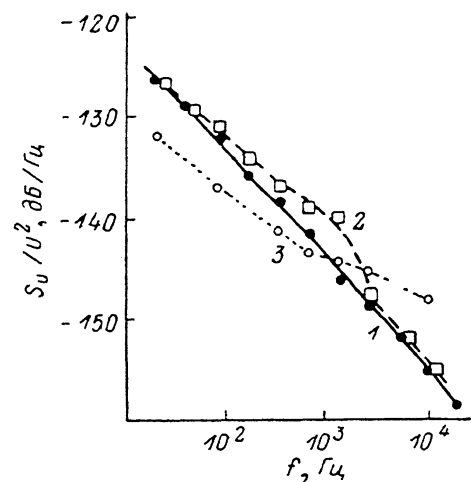


Рис. 1. Зависимость относительной спектральной плотности шума от частоты для образца GaAs. 1 — в темноте, 2 — при освещении светом интенсивности $10^{-3} I_0$, 3 — при освещении светом максимальной интенсивности I_0 .

явление немонотонной зависимости уровня шума от интенсивности подсветки, что подтверждает сделанное ранее предположение о природе объемного шума $1/f$ в арсениде галлия [2].

Исследовались образцы GaAs n -типа с концентрацией свободных носителей $n_0 \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью электронов $\mu \approx 7 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при температуре 300 К и $\mu \approx 5 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при 77 К. Форма и размеры образцов подробно описаны в работе [3]. Зависимость относительной спектральной плотности шума S_u/U^2 от интенсивности света снималась при освещении образцов лампой накаливания. Свет ослаблялся с помощью калиброванного набора нейтральных фильтров. Измерения проводились при комнатной температуре.

На рис. 1 показана зависимость от частоты относительной спектральной плотности флуктуаций напряжения S_u/U^2 на одном из образцов GaAs в темноте (кривая 1), при освещении его светом максимальной интенсивности I_0 (кривая 3) и при освещении светом интенсивности $10^{-3} I_0$ (кривая 2). Как видно из рисунка, под действием слабого света (вызывающего изменение сопротивления образца всего на $\approx 0.2\%$) спектральная плотность шума в диапазоне частот от 80 до 2000 Гц увеличивается на $1 \div 4$ дБ (кривая 2). При возрастании интенсивности света до максимальной (сопротивление образца при этом уменьшалось на 1.5%) увеличение шума в диапазоне частот анализа 80 \div 1000 Гц сменяется уменьшением относительно его темнового значения на $2 \div 6$ дБ.

На рис. 2, *a* представлены зависимости относительной плотности шума от нескольких фиксированных частотах анализа от относительной интенсивности света I/I_0 для того же образца. Видно, что смена возрастания шума его падением ниже темнового уровня при увеличении интенсивности света происходит на частотах $80 \div 960$ Гц; на частотах от 960 до 3120 Гц спектральная плотность шума немонотонно зависит от интенсивности I , оставаясь выше темнового значения, при этом максимум зависимости S_U/U^2 от I при увеличении частоты анализа сдвигается в сторону более высоких значений I . На частотах выше 5120 Гц шум монотонно растет с увеличением интенсивности света.

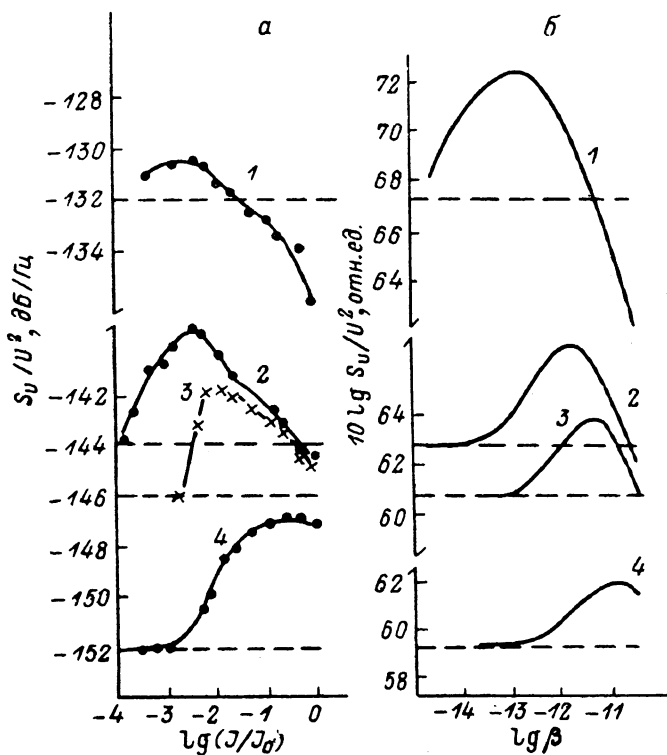


Рис. 2. Зависимости относительной спектральной плотности шума от интенсивности подсветки для различных частот анализа.

Штриховые горизонтальные линии — уровень темнового шума. *a* — экспериментальные кривые; частота анализа, Гц: 1 — 80, 2 — 960, 3 — 1280, 4 — 5120. *b* — расчетные кривые; частота анализа в безразмерных единицах $\omega \tau_{00}$: 1 — $4 \cdot 10^{-13}$, 2 — $4 \cdot 10^{-12}$, 3 — 10^{-11} , 4 — $2 \cdot 10^{-11}$.

Следует отметить, что на частотах анализа ниже 40 Гц немонотонного поведения зависимости S_U/U^2 от I также не наблюдается, шум под действием света только понижается. Это согласуется с результатами работы [3], где измерения проводились только на частоте 20 Гц и шум последовательно уменьшался с ростом I .

Обнаруженное явление немонотонной зависимости $S_U(I)/U^2$ в GaAs качественно объясняется в рамках модели шума $1/f$ в полупроводниках [2]. В основе модели лежит предположение о том, что флуктуации сопротивления полупроводника вызваны захватом свободных электронов на уровни, образующие в запрещенной зоне хвост плотности состояний, и выбросом их оттуда обратно в зону проводимости. Предполагается, что основной вклад в шум $1/f$ дают флуктуации заселенности уровней хвоста, лежащих ниже уровня Ферми, степень заполнения которых близка к единице.

При освещении образца в нем появляются свободные дырки, которые захватываются на уровни хвоста плотности состояний и уменьшают их степень заполнения. Как известно, вклад определенного уровня в шум максимален, когда его степень заполнения равна $2/3$ [5]. Если интенсивность света мала,

то степень заполнения уровней уменьшается незначительно, оставаясь по величине меньшей $2/3$; тогда вклад этих уровней в шум растет. По мере увеличения интенсивности света (и концентрации создаваемых им свободных дырок) степень заполнения уровней продолжает уменьшаться, приближаясь к величине $2/3$. При этом шум, обусловленный данными уровнями, максимален. При дальнейшем росте интенсивности света степень заполнения становится меньше $2/3$, шум падает и при некотором значении I может стать ниже темного.

Подробный анализ зависимости спектральной плотности шума от интенсивности света представлен в работе [1].

В настоящей работе для GaAs проведен численный расчет зависимости S_U/U^2 от интенсивности света аналогично расчету, проделанному в [1] для кремния. При расчете использовались следующие основные параметры: отношение N_c/N_d (N_c — эффективная плотность состояний, N_d — концентрация доноров), $\alpha = \mathcal{E}_0/\mathcal{E}_1$ (где \mathcal{E}_0 и \mathcal{E}_1 — характерные энергии, определяющие соответственно спад плотностей состояний в глубь запрещенной зоны и рост времени захвата электронов при увеличении глубины залегания уровней), $t = kT/\mathcal{E}_0$ (T — температура), частота анализа в безразмерных единицах $\omega\tau_{00}$ (ω — циклическая частота, τ_{00} — время захвата электронов уровнями на краю зоны проводимости) и параметр β , который характеризует интенсивность света (с увеличением I параметр β растет, явное определение этого параметра дано в [1]).

На рис. 2, б приведены результаты расчета зависимости спектральной плотности шума на нескольких частотах анализа от интенсивности света при значениях параметров $N_c/N_d=470$, $t=1$, $\alpha=3$. Из сравнения а и б (рис. 2) видно, что численно рассчитанные на основе модели зависимости S_U/U^2 от I имеют такой же характер поведения, как и экспериментальные кривые.

Таким образом, предположение [2] о том, что шум $1/f$ в GaAs обусловлен флуктуациями заселенности уровней в хвосте плотности состояний, получает дополнительное подтверждение.

Автор благодарит М. Е. Левинштейна и С. Л. Румянцеву за помощь в работе и обсуждение результатов и М. И. Дьяконову за ценные замечания.

Список литературы

- [1] Гук Е. Г., Дьяконова Н. В., Левинштейн М. Е., Румянцев С. Л. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 5. С. 813—820.
- [2] Дьяконова Н. В., Левинштейн М. Е. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 2. С. 283—291.
- [3] Вайнштейн С. Н., Левинштейн М. Е., Румянцев С. Л. // Письма ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 11. С. 645—648.
- [4] Дьяконова Н. В., Левинштейн М. Е., Румянцев С. Л. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1049—1052.
- [5] Copeland J. A. // IEEE Trans. Electron. Dev. 1971. V. ED-18. N 1. P. 50—53.

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

Получено 11.10.1990
Принято к печати 17.10.1990

ФТП, том 25, вып. 2, 1991

О ХАРАКТЕРЕ РАССЕЯНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА НА МЕЛКИХ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Дмитриев С. Г., Рыльков В. В., Шагимурагов О. Г.

Известно, что подвижность носителей заряда μ в легированных слабо компенсированных полупроводниках при низких температурах T определяется их рассеянием на атомах нейтральной примеси, которое должно носить резонансный характер [1] в связи с наличием у нейтральных центров слабо-