

[5] Вашковский А.В., Гречушкин К.В., Стальмахов А.В., Тюлюкин В.А. – Радиотехника и электроника, 1988, т. 33, № 4, с. 876–879.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР
Саратовский филиал

Поступило в Редакцию
19 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 21

12 ноября 1988 г.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПЕРЕСТРОЙКУ СВЕТОМ ШУМА $1/f$ В $GaAs$

Н.В. Дьяконова, М.Е. Левинштейн

Несмотря на многолетние усилия, вопрос о природе шума $1/f$ в полупроводниках все еще остается нерешенным.

Недавно было впервые экспериментально доказано (см., например, [1]), что в определенных условиях поверхностный компонент шума $1/f$ может быть обусловлен суперпозицией процессов захвата электронов и их освобождения с ловушек, расположенных в слое окисла вблизи поверхности (модель Макуортера [2]). В настоящей работе, основываясь на экспериментальных данных по влиянию температуры на эффект перестройки светом шума $1/f$ в $GaAs$, мы покажем, что объемный шум $1/f$ в чистом эпитаксиальном $n-GaAs$ может быть обусловлен суперпозицией объемных генерационно-рекомбинационных процессов.

Ранее в работах [3, 4] было показано, что шум $1/f$ в $n-GaAs$ имеет объемную природу и обусловлен флуктуациями числа носителей (а не подвижности). В работах [5, 6] было показано, что свет с энергией фотонов $\varepsilon_{\varphi} \approx \varepsilon_g$ (ε_g – ширина запрещенной зоны) приводит к качественной перестройке шума $1/f$ в $GaAs$. В настоящей работе излагаются результаты исследования процесса перестройки в широком диапазоне температур и приводится простое модельное объяснение полученных результатов.

Исследовались образцы $n-GaAs$, выращенного методом газовой эпитаксии на κ^+ подложке. Форма, размеры и параметры образцов аналогичны исследовавшимся в [5, 6].

На рис. 1 показаны типичные темновые (без освещения) частотные зависимости спектральной плотности шума для одного из образцов при различных температурах. Из рисунка видно, что в диапазоне температур 120–360 К зависимость S_I/I^2 от частоты представляет собой суперпозицию шума типа $1/f$ и отдельных лоренцианов. Уровень шума $1/f$ соответствует значению параметра Хоуге $\alpha \sim 10^{-5} - 10^{-4}$. Сходные зависимости неоднократно наблюдались для германия (см., например, [7, 8]) и использовались для определения параметров глубоких уровней (шумовая спектроскопия).

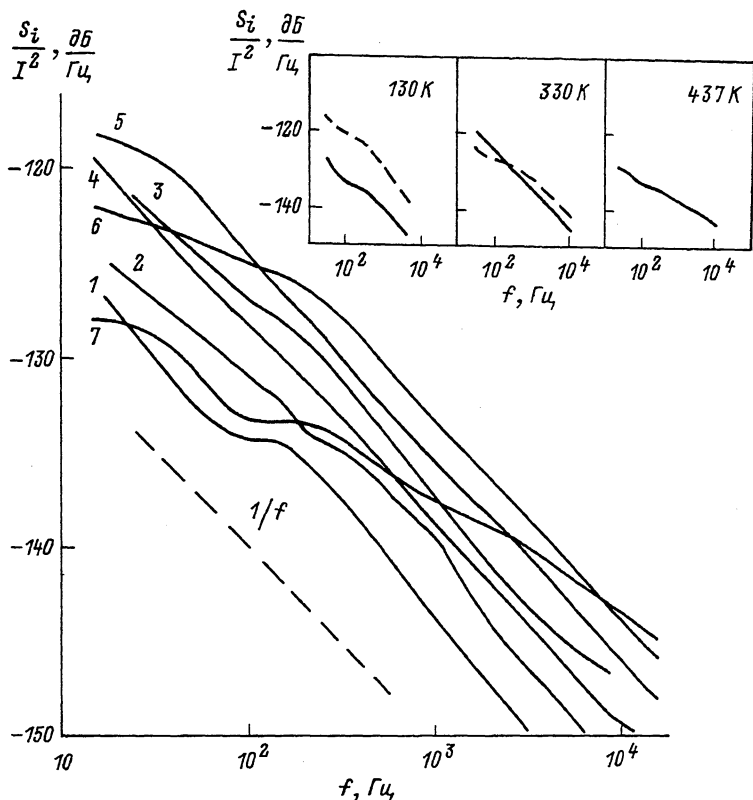


Рис. 1. Зависимость относительной спектральной плотности шума от частоты при различных температурах. $T(K)$: 1 - 130, 2 - 187, 3 - 255, 4 - 300, 5 - 330, 6 - 363, 7 - 437. На вставке - зависимости S_T/I^2 от частоты для трех температур в темноте (сплошные кривые) и при освещении (штриховые).

На вставке к рис. 1 для трех температур сравниваются темновые зависимости S_T/I^2 от частоты и те же зависимости в условиях освещения. Во всех случаях уменьшение сопротивления образца при освещении по отношению к темновому не превышало $\sim 1\%$. Исследование зависимости шума от длины волны падающего на образец света показывает, что при всех температурах основной вклад в изменение шума дают кванты света с энергией $\epsilon_{\varphi} \approx \epsilon_g$ [6].

Видно, что при низких температурах освещение (ассоциирующиеся с появлением в объеме образца дырок [6]) очень сильно повышает уровень шума на всех частотах анализа. Отметим, что очень сильное (до 30 дБ) увеличение шума в диапазоне частот 10^2 - 10^4 Гц наблюдалось при освещении в одной из первых работ по исследованию низкочастотного шума в $GaAs$ при комнатной температуре [9].

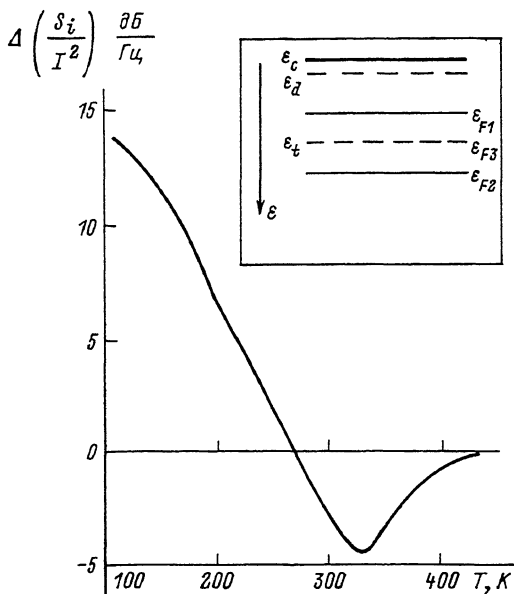


Рис. 2. Зависимость от температуры разности в уровнях шума при освещении и в темноте на частоте анализа $f=40$ Гц. На вставке: к влиянию температуры на зависимость шума от освещения. Положение уровня Ферми ϵ_{F1} соответствует низкой, ϵ_{F2} - высокой, ϵ_{F3} - промежуточной температуре.

Увеличение шума при освещении с ростом температуры ослабевает. При температурах, близких к 300 К, изменение спектра шума под воздействием освещения аналогично наблюдавшемуся в [5, 6].

При еще более высокой температуре в пределах погрешности измерения освещение не влияет на уровень шума.

На рис. 2 для частоты анализа $f=40$ Гц приведена зависимость разницы в уровне шума при освещении и в темноте от температуры.

Обсудим теперь вопрос о температурной зависимости влияния освещения на уровень генерационно-рекомбинационного шума в рамках простейшей модели. Пусть в полупроводнике имеется мелкий донорный уровень ϵ_d , полностью ионизованный при температурах измерения. Концентрация доноров N_d , образующих этот уровень, велика и положение уровня Ферми определяется только величиной N_d и температурой. Пусть, кроме того, имеется уровень ϵ_t с концентрацией $N_t \ll N_d$ (вставка к рис. 2). Наличие в образце глубокого уровня ϵ_t обуславливает возникновение генерационно-рекомбинационного шума, характеризующегося, как правило, стандартным лоренцовским спектром [9]. Обсудим качественно, как в зависимости от температуры будет влиять освещение, вызывающее появление в образце дырок, на уровень шума.

При низкой температуре уровень Ферми \mathcal{E}_{F1} (вставка) лежит заметно выше уровня \mathcal{E}_t . При этом в темноте уровень практически полностью заполнен электронами; величина шума мала. Появляющиеся при освещении дырки, захватываясь на уровень \mathcal{E}_t , будут приводить к появлению на уровне центров, свободных от электронов. Величина шума при этом может очень сильно возрасти.

При очень высокой температуре уровень Ферми \mathcal{E}_{F2} лежит ниже уровня \mathcal{E}_t . Уровень практически пуст уже в темноте. Поэтому появление дырок при освещении не сказывается на степени заполнения центров на уровне \mathcal{E}_t . Освещение в этом случае не будет оказывать влияние на уровень шума.

В случае, когда уровень Ферми \mathcal{E}_{F3} совпадает с уровнем \mathcal{E}_t , степень заполнения уровня равняется $1/2$, и величина генерационно-рекомбинационного шума близка к максимальной. Появление дырок в этом случае, изменяя степень заполнения уровня, будет приводить к понижению уровня шума при освещении.

Таким образом, ясно, что зависимость разницы в уровнях шума при освещении и в темноте ΔS от температуры будет иметь вид, аналогичный наблюдаемому экспериментально для $GaAs$ (рис. 2).

Из рассмотренного простейшего примера ясно, что в случае, если шум типа $1/f$ обусловлен суперпозицией генерационно-рекомбинационных процессов, то зависимость ΔS от температуры также должна иметь вид, качественно аналогичный зависимости, приведенной на рис. 2, а. Действительно, при низкой температуре, когда большинство уровней, вносящих вклад в шум $1/f$, лежит ниже уровня Ферми, появление дырок будет приводить к сильному увеличению шума. При высокой температуре, когда большинство уровней практически пусто, дырки не влияют на уровень шума. В промежуточной области температур возможно понижение шума при освещении.

Таким образом, анализ температурной зависимости эффекта перестройки светом шума $1/f$ в $GaAs$ приводит к заключению, что в чистом эпитаксиальном $GaAs$ шум $1/f$ при величине параметра Хоуге $\alpha \sim 10^{-5} - 10^{-4}$ возникает вследствие суперпозиции генерационно-рекомбинационных процессов. Важно отметить, что, как следует из экспериментов по исследованию шума $1/f$ в условиях поперечного магнетосопротивления [3], греющего электрического поля [4] и межзонной подсветки [6], выполненных на том же самом $GaAs$, шум $1/f$ в таком материале имеет объемную природу и связан, следовательно, с суперпозицией генерационно-рекомбинационных процессов в объеме образца [10].

Авторы искренне признательны М.И. Дьяконову и С.Л. Румянцеву за постоянный интерес к работе.

Л и т е р а т у р а

- [1] U r e n M.J., D a y D.J., K i r t o n M.J. - Appl. Phys. Lett., 1985, v. 47, N 11, p. 1195-1197.

- [2] Mc Whorter A.L. - In: *Semicond. Surface Phys.* / Ed. R.H. Kingston Philadelphia, Univ. Pennsylv. Press, 1957, p. 207.
- [3] Левинштейн М.Е., Румянцев С.Л. - ФТП, 1983, т. 17, в. 10, с. 1830-1834.
- [4] Левинштейн М.Е., Румянцев С.Л. - ФТП, 1985, т. 19, в. 9, с. 1651-1656.
- [5] Вайнштейн С.Н., Левинштейн М.Е., Румянцев С.Л. - Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, № 12, с. 741-743.
- [6] Дьяконова Н.В., Левинштейн М.Е., Румянцев С.Л. - ФТП, 1988, т. 22, в. 6, с. 1049-1052.
- [7] Vosman G., Zijlstra R.J.J. - *Solid State Electron.*, 1982, v. 25, N 4, p. 273-280.
- [8] Шоблицкас З., Паленскис В. - Литовский физ. сб., 1985, т. 25, № 3, с. 88-97.
- [9] Soreland J.A. - *IEEE Trans. on Electron Dev.*, 1971, v. ED-18, N 1, p. 50-53.
- [10] Дьяконова Н.В., Левинштейн М.Е., Румянцев С.Л. Тез. Всес. конф. „Флуктуационные явления в физических системах“, Паланга, 27-30 сентября 1988 г.

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

Поступило в Редакцию
3 июня 1988 г.
В окончательной
редакции
20 сентября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 21

12 ноября 1988 г.

ПРОДОЛЬНЫЙ ФОТОЭФФЕКТ НА ОСНОВЕ ВНУТРЕННЕЙ ФОТОЭМИССИИ

Г.Г. Ковалевская, С.В. Слободчиков,
Л. Кратена

Как известно, продольный фотоэффект, наблюдающийся в р-р-переходах и других диодных структурах при локальном освещении поверхности структуры, обусловлен возникновением продольного (параллельного плоскости диодной структуры) электрического поля, являющегося результатом перераспределения инжектированных носителей между освещенной и неосвещенной областями. При этом в основе эффекта лежит генерация фотоэдс на структуре из-за разделения электронно-дырочных пар. Однако проведенные нами эксперименты показывают, что продольный фотоэффект может быть связан также и с явлением внутренней фотоэмиссии в диодной структуре и что при этом может быть получено существенное повышение