

Авторы признательны Г. Н. Бочкову и А. И. Чикину за полезные советы и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малахов А. Н. Кумулянтный анализ негауссовых процессов и их преобразования. — М.: Сов. радио, 1978.
2. Suga Ch. and Hsiang Th. // Phys. Rev. B. 1986. V. 33. № 7. P. 4898.
3. Бахтизин Р. З., Гоц С. С., Ильясов Р. Г. // Поверхность. 1984. № 4. С. 54.
4. Фишер Р., Нойман Х. Автоэлектронная эмиссия полупроводников. / Пер. с нем. — М.: Наука, 1971.
5. Бахтизин Р. З., Гоц С. С. // ПТЭ. 1985. № 3. С. 216.

Башкирский государственный университет

Поступила в редакцию
20 июля 1987 г.,
после переработки
9 марта 1988 г.

УДК 621.382.2

ШУМ $1/f$ В КОМПЕНСИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУРАХ

В. М. Арутюнян, З. О. Мхитарян

Как известно, на низких частотах в приборах наблюдается токовый шум, имеющий спектр вида $1/f^\gamma$, где γ — порядка единицы. Физическая причина возникновения $1/f$ шума не понятна до сих пор, хотя существует ряд теоретических и эмпирических моделей $1/f$ шума, наиболее полно охваченных в обзорах [1, 2].

Наши исследования шумов показали, что в приборах из кремния, компенсированного серой или цинком, также имеет место $1/f$ шум. В литературе отсутствуют сведения о шуме типа $1/f$ в вышеупомянутых структурах, хотя их исследование необходимо для более четкого понимания происходящих в них физических процессов.

Приборы из кремния с примесью серы представляют собой образцы с омическими контактами и $p^+ - n - n^+$ диодные структуры. Технология изготовления этих приборов изложена в [3]. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) для образцов с омическими контактами в используемом диапазоне напряжений и температур имеет линейный характер. ВАХ диодных структур в пропускном направлении содержат участок дифференциального отрицательного сопротивления S-типа, причем с понижением температуры напряжение срыва растет. Концентрация доноров составляла $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Приборы из кремния с примесью цинка представляют собой мезалланарные $p^+ - n - p^+$ структуры. Технология изготовления компенсированного цинком кремния изложена в [4]. Области p^+ получались ионным легированием бора. На обеих ветвях ВАХ приборов имеются участки с отрицательным дифференциальным сопротивлением S-типа. Концентрация акцепторов была равна $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Омические контакты к образцам получались осаждением в вакууме сплава $\text{Au} + 1\% \text{ Sb}$. Площадь контакта $\approx 10^{-4} \text{ см}^2$. На всех приведенных в работе рисунках цифрой I обозначены соответствующие зависимости для образцов с омическими контактами из кремния с примесью серы, II — для $p^+ - n - n^+$ структур из $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$, III — для $p^+ - n - p^+$ структур из $\text{Si}\langle\text{Zn}\rangle$. Конфигурация и геометрические размеры исследуемых приборов показаны на рис. 1. Площадь $p^+ - n$ -перехода для диодных структур из $\text{Si}\langle\text{S}\rangle \approx 10^{-4} \text{ см}^2$.

Установка, на которой проводились измерения шумов, имеет частотный диапазон 20 Гц—20 кГц [5] и включает криостат [6] для проведения измерений в температурном интервале 77—300 К. Спектральная плотность токовых шумов S_i исследована в зависимости от f и температуры. $1/f$ шумы в исследуемых структурах наблюдались начиная с 20 Гц, сменяясь с повышением частоты в зависимости от образца, его температуры и тока либо плато генерационно-рекомбинационного шума, либо зависимостью вида $1/f^2$.

Как известно [6], Хоухе предложил использовать для $1/f$ шумов эмпирическую формулу

$$S_i = \alpha I^2 / fN, \quad (1)$$

где I — ток через образец, $N = nV$ — число свободных носителей в образце, $\alpha \approx 2 \cdot 10^{-3}$ — постоянная Хоухе, n — концентрация носителей, V — объем.

Для образцов с омическими контактами из $\text{Si}\langle\text{S}\rangle$ объем определялся как [7]

$$V = 20\pi R^3, \quad (2)$$

где R — радиус контакта.

Для диодных структур объем рассчитывался обычным путем. На рис. 2а приве-

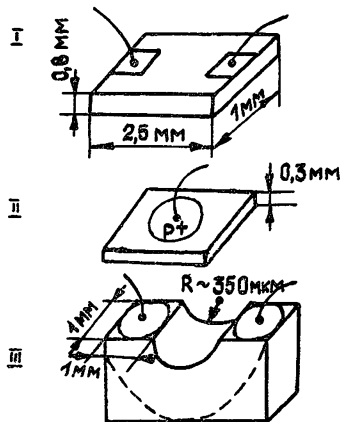


Рис. 1.

дена температурная зависимость числа носителей, а на рис. 26 — шумовые спектры исследуемых структур в диапазоне частот 20—100 Гц. Числами у графиков указана температура в кельвинах, при которой был спектр, в скобках — ток через структуру в микроамперах.

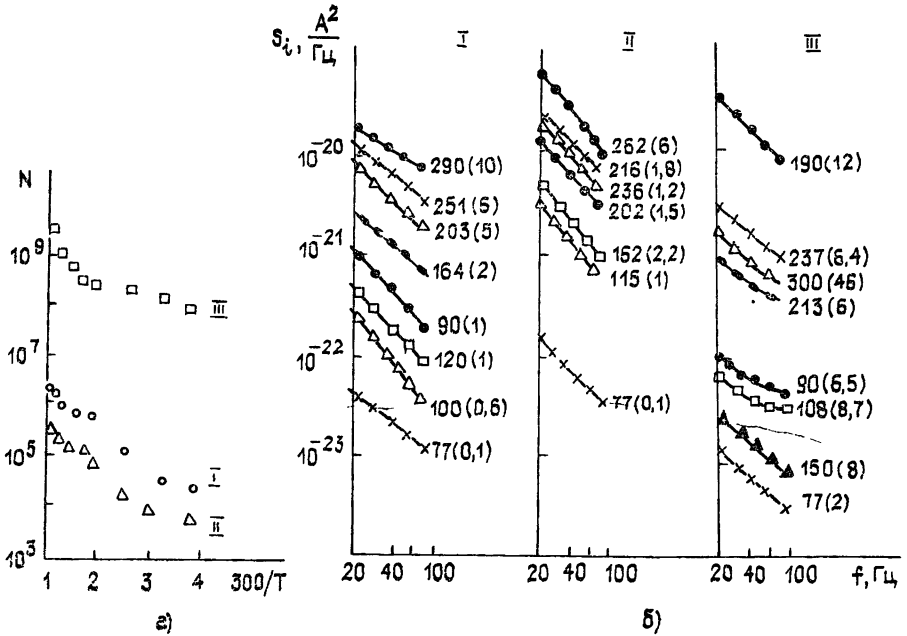


Рис. 2.

Используя (1), мы оценили параметр α , определяющий уровень $1/f$ шума на частоте 40 Гц при различных температурах. Соответствующий график приведен на рис. 3. При оценке α в приборах из $Si\langle S \rangle$ и $Si\langle Zn \rangle$ использовались значения S_i , J и N , полученные при работе приборов в омическом и начальном квадратичном режимах. Существенной разницы значений α для различных режимов работы диода не замечено, хотя для образцов с омическими контактами на основе $Si\langle S \rangle$ α меньше, чем для приборов, имеющих базу из того же материала. В приборах из $Si\langle Zn \rangle$ параметр $1/f$ шума несколько больше по сравнению с $Si\langle S \rangle$, что, по-видимому, обусловлено более неравномерным распределением примеси в исследуемых образцах.

Как видно из рис. 3, при $T > 180$ К α для диодов растет с возрастанием температуры. Мы интерполировали температурный ход α для диодов из $Si\langle S \rangle$ в виде функции [8]

$$\alpha = A \exp(-E/kT) + B, \quad (3)$$

где $A=9,215$, $E=0,099$ эВ, $B=2 \cdot 10^{-3}$, k — постоянная Больцмана.

Задаваясь значением $B \approx \alpha$ (см график II), мы определили A и энергию активации E методом наименьших квадратов на микроЭВМ «Электроника ДЗ-28». Расчетная кривая показана на рис. 3 штриховой линией. Таким образом, наблюдаемая температурная зависимость может быть обусловлена термоактивационными процессами [8] с энергией активации $\approx 0,099$ эВ.

Не совсем понятен ход температурной зависимости α для образцов с омическими контактами (кривая I). Оценка подвижности с использованием данных, приведенных в [9], и измерение подвижности в исследуемых образцах [3] показали, что в диапазоне температур 77—300 К общую подвижность μ определяет

подвижность μ_i , обусловленная рассеянием на акустических фононах. Поскольку $\mu \approx \mu_i$, α не должно меняться.

Авторы благодарны А. Т. Дарбасяну за помощь при расчетах на ЭВМ, З. Н. Адамьяну и Р. С. Барсегяну за предоставление образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочков Г. Н., Кузовлев Ю. Е. // УФН, 1983. Т. 141. № 1. С. 151.
2. Коган Ш. М. // УФН. 1985. Т. 145. № 2. С. 285.
3. Арутюнян В. М., Мхитарян З. О., Барсегян Р. С. // Радиофизика. 1986. Т. 29. № 8. С. 984 (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Adamjan Z. N., Arutunjan V. M. // Electron. Techn. 1975. V. 8. № 3/4. P. 45.
5. Мхитарян З. О., Барсегян Р. С., Арутюнян В. М. // Радиофизика. 1984. Т. 27. № 9. С. 1218 (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Hooge F. N. // Physica. 1972. V. 60. № 2. P. 130.
7. Bisschop J., Cuijpers T. L. // Physica. 1983. V. BC123. № 1. P. 6.
8. Luo J., Love W. F., Miller S. C. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. № 9. P. 3196.
9. Орлов В. Б., Якимов А. В. // Радиофизика. 1984. Т. 27. № 12. С. 1584 (Изв. высш. учеб. заведений).

Ереванский государственный
университет

Поступила в редакцию
26 марта 1987 г.,
после переработки
12 января 1988 г.