

( $H = (0, H, 0)$  — магнитное поле солитона,  $H = cE/u$ ). Подставляя (2)—(6) в (7) и учитывая принятое ранее условие  $u\tau/w \gg 1$ , получаем

$$F = (8/3) \sigma_0 E_0^2 \tau (w/u \tau)^3. \quad (8)$$

Импульс солитона (в расчете на единицу площади) равен

$$G = \frac{\epsilon}{4\pi c} \int_{-\infty}^{\infty} [EH]_z dz = \frac{\epsilon E_0^2 w}{2\pi u}, \quad (9)$$

где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость

Из (8) и (9) можно найти время пробега солитона  $\tau_s$  и длину пробега  $l_s$ .

$$\tau_s = \frac{G}{F} = \frac{3}{16\pi} \frac{\epsilon (u\tau)^2}{\sigma_0} = \frac{3}{64\pi} \frac{\epsilon E_0^2 \tau}{n \Delta} \frac{I_0 (\Delta / kT)}{I_1 (\Delta / kT)}, \quad l_s = u \tau_s \quad (10)$$

При тех же значениях параметров, что и в [1],  $u \sim 10^{10}$  см/с,  $\epsilon \sim 10$ ,  $\tau \sim 10^{-11}$  с,  $n \sim 10^{14}$  см $^{-3}$ ,  $\Delta \sim 10^{-2}$  эВ,  $E_0 \sim 10^4$  В/см имеем  $\tau_s \sim 10^{-9}$  с,  $l_s \sim 10$  см. Это на два порядка меньше, чем дают грубые оценки в [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Эпштейн Э. М — ФТТ, 1977, 19, с 3456
2. Тетервов А П — УФЖ, 1978, 23, с 1182.
3. Шик А Я. — ФТП, 1974, 8, с. 1841.

Поступила в редакцию  
5 сентября 1980 г.

УДК 621.391.822

## ДЛИННОВРЕМЕННЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ ФЛУКТУАЦИЙ ТОКА КРЕМНИЕВЫХ АВТОЭМИТТЕРОВ

Р. З. Бахтизин, С. С. Гоц, Ф. Ф. Ишмуратов

Процессы адсорбции и миграции адсорбированных атомов на поверхности автоэммиттера оказывают сильное влияние на величину и флуктуации эмиссионного тока в силу экспоненциальной зависимости его от напряженности электрического поля и работы выхода. Поэтому величина флуктуаций и их временные параметры довольно тонко отражают состояние поверхности эмиттера.

Важнейшей характеристикой случайных процессов, к числу которых относятся и флуктуации автоэмиссионного тока, является автокорреляционная функция [1], описывающая связь состояний какой-либо системы в различные моменты времени. В данной работе приводятся результаты исследования автокорреляционной функции  $K(\tau)$  флуктуаций автоэмиссионного тока из монокристаллов  $p$ -типа кремния с удельным сопротивлением  $\rho = 500$  Ом·см и 2000 Ом·см в диапазоне  $0,05$  с  $< \tau < 300$  с. Выбор интервала изменения  $\tau$  связан с широким распределением времен релаксации носителей тока на поверхностных состояниях, оказывающих свое влияние на величину и характер флуктуаций [2].

Учитывая большой объем информации, необходимой для вычисления автокорреляционной функции, запись и обработка результатов измерения флуктуаций эмиссионного тока осуществлялись с помощью ЭВМ ЕС-1022. Применение ЭВМ позволило также продвинуться в область инфранизкочастотных флуктуаций. Верхняя граничная частота исследованных флуктуаций (100 Гц) определялась полосой пропускания усилителя тока.

Автоэмиссионный прибор представлял собой видеоизмененный полевой электронный микроскоп с экранирующей коллектор сеткой. Высокое напряжение на эмиттер подавалось со стабилизированного высоковольтного блока Б5-24. Питание предусилителя осуществлялось от гальванической батареи. При измерениях прибор с предусилителем помещался в магнитно-электростатический экран.

Усиленный сигнал с автоэмиссионного прибора поступал на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) Ф-4222, запускаемый при помощи тактового генератора Г5-54 (с частотой 200 Гц в описываемых ниже экспериментах). АЦП подключался к ЭВМ

непосредственно через перфоленточное устройство ввода, минуя фотосчитывающее устройство. С этой целью в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) были зарезервированы две области памяти объемом по 8 *кбайт*. Во время проведения измерений в ОЗУ накапливался массив данных объемом до 8 *кбайт*, который затем переносился в накопитель на магнитной ленте (НМЛ). Во время записи в НМЛ массива данных из одной области ОЗУ накопление входных данных происходило в другой, зарезервированной области ОЗУ. По окончании измерений данные эксперимента последовательно считывались из НМЛ в ОЗУ и происходило вычисление среднего значения  $\bar{X}$  реализации случайного процесса  $X(t)$ , а затем и функции автокорреляции с заданным интервалом времени  $\tau = jT_0$  согласно алгоритму

$$K(jT_0) = (1/N) \sum_{i=1}^N \{X(iT_0) - \bar{X}\}[X(iT_0 + jT_0) - \bar{X}],$$

где  $X(iT_0)$  и  $X(iT_0 + jT_0)$  — квантованные значения реализации  $X(t)$  в дискретные моменты времени  $t = iT_0$  и  $t = iT_0 + jT_0$  соответственно,  $N$  — количество выборок,  $T = 5 \cdot 10^3$  с — минимальный дискретный интервал времени, который определялся частотой запуска АЦП; переменная  $j$  используется для задания нужного  $\tau$  в интервале  $0,05$  с  $< \tau < 300$  с [2]. В соответствии с теоремой Котельникова минимальная частота выборок (т. е. частота запуска АЦП), обеспечивающая полный анализ спектра сигнала, должна не менее чем в 2 раза превосходить его верхнюю граничную частоту (в нашем случае 100 Гц).

Поскольку в наших программах была реализована возможность только непрерывной последовательной обработки массива данных по 8 *кбайт*, то, чтобы исключить влияние на результаты эксперимента возможной гармонической составляющей из-за сетевых наводок, были проведены предварительные контрольные измерения с частотой запуска АЦП, равной 210 и 420 Гц. Благодаря этому боковые полосы прозрачности дискретного фильтра оказываются расположенными достаточно далеко от частот, кратных 50 Гц. Максимальный темп дискретизации определялся максимально возможной скоростью ввода данных в ЭВМ, минимальный — продолжительностью эксперимента, которая обычно ограничивалась несколькими часами, что связано, во-первых, с трудностями поддержания постоянства параметров автоэлектронной эмиссии, а во-вторых, с необходимостью накопления достаточного количества информации, чтобы смещение оценки автокорреляционной функции не превышало некоторой, наперед заданной величины порядка 0,1 [1, 3, 4]. При этом оказалось, что автокорреляционная функция незначительно меняется в пределах одного порядка измеряемой величины, сохраняя при этом свою качественную определенность, что позволяет нам рассматривать наблюдавшийся в условиях данного эксперимента шум как квазистационарный процесс.

На рис. 1 приведена автокорреляционная функция флуктуаций автоэмиссионного тока при  $T = 300$  К и давлении остаточных газов  $3 \cdot 10^{-8}$  Тор, снятая на участке Фаулера — Нордгейма вольт-амперной характеристики при токе эмиссии  $5 \cdot 10^{-9}$  А для образца с  $\rho = 500$  Ом·см. Относительная среднеквадратичная погрешность измерения  $K(\tau)$  не превышала 0,3% для  $\tau = 0,05$  с и 10% для  $\tau = 300$  с [2]. Возрастание погрешности объясняется уменьшением объема выборки с ростом величины задержки при неизменном объеме реализации  $X(t)$  [2]. При частоте запуска АЦП, равной 200 Гц, за время эксперимента 2 ч 42 мин было накоплено  $2 \cdot 10^6$  точек измерения реализации случайного процесса  $X(t)$ , что позволило обеспечить указанную выше точность.

Как видно из рисунка, функция  $K(\tau)$  носит ярко выраженный экспоненциальный характер. Полученные значения автокорреляционной функции дают, согласно теореме Винера — Хинчина, спектральную мощность шума  $S(f)$  вида  $1/f^\alpha$  (где  $\alpha = 1 + 2$ ), возрастающую при уменьшении частоты по крайней мере до 0,003 Гц. В то же время из рисунка видно, что автокорреляционная функция может быть представлена набором экспонент вида  $K(\tau) = A_1 \exp(-\tau/\tau_{01}) + A_2 \exp(-\tau/\tau_{02}) + \dots$ , где  $\tau_{01}, \tau_{02}, \dots$  являются характерными временами корреляции того или иного физического процесса, наблюдаемого в вакуумных приборах (например, адсорбции и миграции адатомов по поверхности эмиттера). Вычисления показали, что наблюдаемый излом графика соответствует  $\tau_{01} \approx 100$  с и  $\tau_{02} \approx 200$  с.

Вид функции  $K(\tau)$  в диапазоне  $0,05$  с  $< \tau < 300$  с свидетельствует о дискретном распределении времен релаксации, характеризующих поверхностные процессы, которые определяют уровень низкочастотного шума. Дискретный набор времен, как было сообщено ранее [2], обнаружен и для более коротких времен  $\tau$ , что следует из немоного спада  $S(f)$  с увеличением частоты.

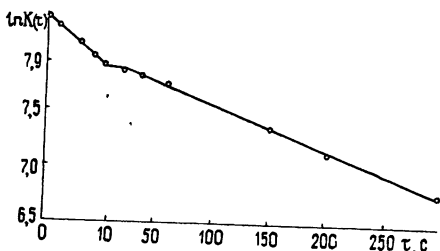


Рис. 1.

Мы связываем такое поведение автокорреляционной функции с перераспределением времен релаксации носителей тока на поверхностных состояниях в кремнии в присутствии сильного электрического поля, что ведет к изменению условий экранировки объема эмиттера в неравновесных условиях при отборе тока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мирский Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов.— М.: Энергия, 1967
2. Ван дер Зил А. Шум (источники, описание, измерение).— М.: Сов радио, 1973.
3. Мирский Г. Я. Радиоэлектронные измерения.— М.: Энергия, 1975.
4. Грибанов Ю. И, Мальков В Л Выборочные оценки спектральных характеристик стационарных случайных процессов — М.: Энергия, 1978.
5. Бахтизин Р. З, Гоц С С Сб Материалы III Всесоюзной конференции «Нитевидные кристаллы для новой техники». — Воронеж, 1979, с. 157.

Башкирский государственный  
университет

Поступила в редакцию  
23 октября 1979 г.,  
после доработки  
17 марта 1981 г.

