

06;12

## Стохастические автоколебания поверхностной фото-эдс

© В.А. Вьюн

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск

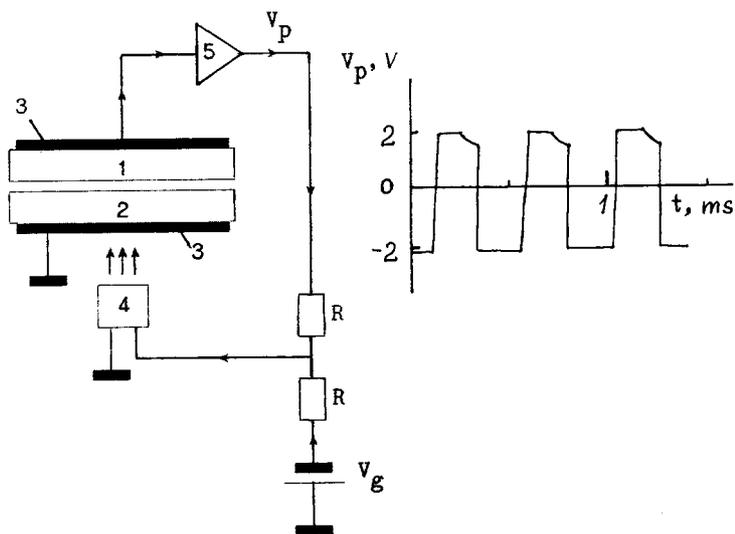
Поступило в Редакцию 4 июня 1997г.

Впервые сообщается об экспериментальном наблюдении и исследовании стохастических автоколебаний поверхностной фото-эдс. Выбрана доступная большинству исследователей слоистая структура металл–диэлектрик–полупроводник–металл, в которой обнаружены новые нелинейные свойства.

Стохастические автоколебания, или динамический хаос, привлекают внимание исследователей в различных областях [1–4]. По-прежнему представляют интерес новые системы, в которых проявляется это явление. В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования обнаруженных стохастических автоколебаний поверхностной фото-эдс. О такого типа автоколебаниях ранее не сообщалось (даже, в частности, в обстоятельной монографии [5]).

Экспериментальная схема исследования показана на рис. 1. В ней использовалась простейшая слоистая структура металл–диэлектрик–полупроводник–металл, в которой была возможность смены полупроводников. Полупроводником 1 служила пластина кремния *n*-типа с удельным сопротивлением  $4 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ ; диэлектриком 2 — полированная стеклянная пластина толщиной 1 mm; электроды 3 представляли собой металлическую фольгу. В нижнем электроде была выполнена щель для подсветки поверхности полупроводника светодиодом 4. Подсветка осуществлялась "красным" светодиодом АЛ1102А, который при подаче на него переменного напряжения мог генерировать свет модулируемой интенсивности.

В исследуемой структуре при подсветке поверхности полупроводника светодиодом с емкостных электродов снималось возникающее напряжение конденсаторной фото-эдс, которое подавалось на вход низкочастотного усилителя 5. В свою очередь, напряжение с усилителя через сопротивление  $R = 110 \Omega$  подавалось на светодиод. Для выбора рабочей



**Рис. 1.** Экспериментальная схема исследования: 1 — полупроводниковая пластина, 2 — диэлектрическая пластина, 3 — электроды, 4 — светодиод, 5 — низкочастотный усилитель. (На вставке справа — осциллограмма сигнала фото-эдс  $V_p$  для  $K = 90$  dB,  $V_g = -6$  V).

точки светодиода на него через другое сопротивление  $R = 110 \Omega$  еще подавалось постоянное напряжение  $V_g$ . В аналогичной схеме с такой внешней обратной связью ранее наблюдались только регулярные автоколебания напряжения фото-эдс [6–8]. Такие автоколебания, возникающие в килогерцовом диапазоне частот, основаны на релаксационных свойствах конденсаторной поверхностной фото-эдс. Они представляют интерес для прецизионного и чувствительного исследования релаксации электронных процессов на поверхности полупроводника и построения сенсоров окружающей среды.

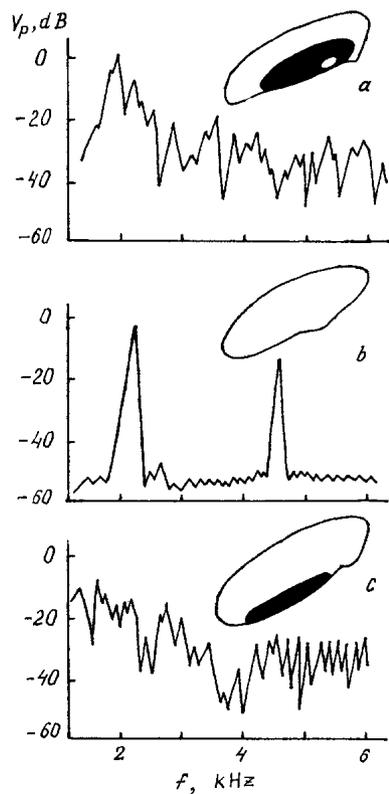
Эксперименты выполнены при комнатной температуре. Для исследования характера автоколебаний снимались спектральные зависимости и фазовый портрет для напряжения фото-эдс  $V_p$  на выходе усилителя. При этом спектральные зависимости получались с помощью анализатора спектра, а фазовый портрет — с помощью осциллографа, на вертикаль-

ные и горизонтальные пластины которого подавался сигнал  $V_p$  и его производная по времени соответственно.

Стохастические автоколебания напряжения фото-эдс были обнаружены при использовании полупроводников с поверхностью, полученной после травления, и естественного окисления на воздухе при комнатной температуре. При этом на поверхности устанавливалось обеднение основными носителями заряда, что способствовало возникновению большого напряжения фото-эдс, которое обладало необходимыми релаксационными свойствами при включении и выключении подсветки.

В исследуемой схеме при соответствующих значениях коэффициента усиления усилителя  $K$  и постоянного напряжения  $V_g$  возникали различного типа автоколебания. Так, для  $K$  ниже 60 дБ автоколебания не наблюдались, а для  $K$  в диапазоне от 60 до 80 дБ устанавливались регулярные квазигармонические автоколебания. При дальнейшем увеличении коэффициента усиления  $K$  возникали сильно нелинейные и стохастические автоколебания. Для  $K = 90$  дБ при увеличении напряжения  $V_g$  на рис. 2, *a-c* показан пример спектральных зависимостей и фазовых портретов для сигнала фото-эдс  $V_p$ . Характерно, что для напряжения  $V_g$ , находящегося в диапазоне от  $-3$  до  $-8$  В, возникали сильно нелинейные регулярные автоколебания. Для  $V_g = -6$  В на вставке к рис. 1 показана осциллограмма сигнала фото-эдс  $V_p$ , а на рис. 2 *b* — его спектральная зависимость и фазовый портрет. Для спектральной зависимости характерно наличие основной и кратной гармоник, а фазовый портрет представляет собой замкнутую кривую (устойчивый аттрактор). Однако для  $V_g = 0$  В (рис. 2, *a*) и  $V_g = -10$  В (рис. 2, *c*) присутствие основной и кратных ей гармоник уже отметить трудно. На фазовом портрете автоколебаний видны устойчивый и неустойчивый (странный) аттракторы. Первый изображен внешней замкнутой линией, а второй — сплошной темной областью, которую с наибольшей вероятностью "заштриховывает" система, вращаясь вокруг нуля. При этом система какую-то часть времени проводит на устойчивом аттракторе, а затем срывается и переходит на неустойчивый. Такой переход из регулярного режима автоколебаний к стохастическому характерен для сценария перехода от регулярных к стохастическим автоколебаниям через перемежаемость [1–5, 9].

Для понимания стохастических автоколебаний не достаточно феноменологическая модель [6–8], учитывающая поверхностные состояния с одним временем релаксации неравновесного заряда и объясняющая



**Рис. 2.** Спектральные зависимости и фазовые портреты (в верхней части рисунков) для сигнала фото-эдс  $V_p$  для  $K = 90$  dB и постоянного напряжения  $V_g = 0$  В (a),  $-6$  В (b),  $-10$  В (c).

регулярные автоколебания поверхностной фото-эдс. Это связано с тем, что при этом фазовое пространство рассматриваемой системы является двумерным и в нем возможны только регулярные автоколебания [1–5]. По-видимому, для объяснения наблюдаемых стохастических автоколебаний необходимо учитывать несколько типов поверхностных состояний полупроводника, когда фазовое пространство системы будет иметь большую размерность.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 96-02-19393).

## Список литературы

- [1] *Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.; Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 423 с.
- [2] *Неймарк Ю.И., Ланда П.С.* Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1987. 424 с.
- [3] *Шустер Г.* Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир, 1989. 280 с.
- [4] *Дмитриев А.С., Кислов В.Я.* Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989. 280 с.
- [5] *Шелль Э.* Самоорганизация в полупроводниках: Неравновесные фазовые переходы в полупроводниках, обусловленные генерационно-рекомбинационными процессами. М.: Мир, 1991. 464 с.
- [6] *Вьюн В.А.* // Поверхность. 1991. № 6. С. 73–77.
- [7] *Ууин В.А.* // Proc. IEEE Intern. Frequency Control Symp. 1993. P. 509–513.
- [8] *Ууин В.А.* // Lithuanian J. of Phys. 1995. V. 35. N 5–6. P. 478–483.
- [9] *Manneville P., Pomeau Y.* // Physica D. 1980. V. 1. N 2. P. 219–226.