

**ШУМЫ В ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

NOISE IN PHYSICAL SYSTEMS, INCLUDING  $1/f$ -NOISE, BIOLOGICAL SYSTEMS, AND MEMBRANES./Ed. Ag. A. Ambrozy: Proceedings of 10th International Conference. Budapest. August 1989.—Budapest: Akademiai Kiado, 1990—690 p.

Рецензируемая книга представляет собой сборник (изложенных в конспективной форме объемом 2—8 стр.) трудов 10 международной кон-

ференции по исследованию шумов в различных системах и материалах. Эта конференция проходила с 21 по 25 августа 1989 г. в Будапеште. Следующая из этих регулярно проводимых (через каждые два года) международных конференций будет проходить в 1991 г. в Киото (Япония). В работе 10-й конференции приняло участие более 100 ученых из 20 различных стран мира.

Интерес к исследованию флуктуаций прежде всего связан с тем, что шумы определяют фундаментальные пороги измерения и регистрации различных физических величин. Кроме того, исследование флуктуаций в системах позволяет более глубоко понять природу протекающих в них процессов. Поэтому в последние годы все более возрастает интерес к исследованию шумов не только в физических, а также в химических и биологических системах. Однако раздел, посвященный шумам в биологических системах, содержит всего лишь две работы американских ученых Л. де Филиса и М. Грина (L. J. De Felice и M. E. Green), в которых обсуждаются флуктуации потенциала на нервной мембране на основе модели Ходжкина-Хаксли. Все остальные работы посвящены исследованию шумов в различных физических системах, в том числе в кристаллических и аморфных материалах и в электронных приборах.

Основное внимание уделяется одному из фундаментальных вопросов физики—низкочастотным шумам со спектром  $1/f$ . Этой проблеме посвящен обзор Ш. М. Когана (УФН, 1985. Т. 145. С. 285). По-прежнему остается актуальным вопрос, существует ли универсальная причина возникновения  $1/f$ -шума или же в каждой системе такой шум имеет свою специфическую природу, связанную с ее конкретной особенностью.

Наибольший интерес и дискуссии вызвали работы Ван Флит (С. М. van Vliet) и П. Х. Хендела (P. H. Handel) по теории  $1/f$ -шума, основанной на идеях квантовой электродинамики. Цикл работ П. Х. Хендела посвящен развитию ранее предложенной им квантовой теории  $1/f$ -шума. По идее Хендела  $1/f$ -шум связан с интерференцией волновых функций, описывающих процесс рассеяния электронов. Эти функции отличаются по частоте относительно друг друга за счет тормозного излучения электрона. На этой основе Хенделом дана формулировка  $1/f$ -шума с многочастичной точки зрения (в терминах вторичного квантования).

В работе А. Ван дер Зила (A. van der Ziel) проведено сопоставление экспериментальных данных с теорией Хендела по величине постоянной Хоуге (Hooge), т. е. константы  $\alpha_n$ , фигурирующие в формуле Хоуге для спектральной плотности  $1/f$ -шумов:  $S_1 / I^2 = \alpha_n / Nf$ . Рассмотрение приведено на примере целого ряда приборов: вакуумных фотоэлементов, пентодов, полупроводниковых резисторов, полевых и биполярных транзисторов и др. Установлено, что для одних приборов наблюдается весьма удовлетворительное согласие экспериментальных данных с теорией Хендела, для других отмечается существенное расхождение теории с экспериментом. Отмечается, что в ряде случаев величина  $\alpha_n$  зависит от геометрических размеров образца и других параметров структуры прибора.

В работе В. Паленкиса, З. Соблискаса, А. Стадалникаса показано, что наличие в полупроводниках крупномасштабных флуктуаций потенциала может приводить к большим значениям постоянной  $\alpha_n$  в формуле Хоуге. В обзоре Т. Кляйпеннинга (T. G. M. Kleinpenning) рассмотрены теоретические и экспериментальные результаты по исследованию  $1/f$ -шума в различного рода электронных приборах:  $p$ — $n$ -переходах, МОП и полевых транзисторах, джозефсоновских контактах, диодах Шоттки. Отмечается, что экспериментальные данные в основном удовлетворительно описываются предложенными ранее теоретическими моделями  $1/f$ -шума. Однако в этом обзоре также подчеркивается, что постоянная

Хоуге  $\alpha_n$  не носит универсальный характер и зависит от типа и структуры прибора.

В книге представлено много работ по исследованию низкочастотных шумов в конкретных полупроводниковых приборах: в изготовленных по различной технологии GaAs пленках (работа А. Амбрози (A. Ambrozy) и др.), Ge-резисторах (Н. Б. Лукьянчикова и др.), в длинных диодах (В. И. Стафеев и др.), диодах Шоттки (Х. Гутлер (H. N. Guttler) и др.), в датчиках Холла на основе сверхрешеток (Х. Балтес (H. P. Baltes) и др.), биполярных, полевых, МОП и НЕМТ-транзисторах и других приборах. Для объяснения величины наблюдаемых  $1/f$ -шумов используются и предлагаются разнообразные механизмы. Так, возникновение шума  $1/f$  в биполярных транзисторах. С. Декоутер (S. Decoutere и др.) связывают с поверхностной рекомбинацией, наличие  $1/f$ -шума в МОП-транзисторах Д. Чанг и К. Висванатан (J. Chang и C. R. Viswanathan) объясняют туннельным захватом носителей тока на центры в диэлектрике, в НЕМТ-транзисторах С. Хашигучи и Х. Ири (S. Hashiguchi и H. Irie)  $1/f$ -шум связывают с флуктуациями носителей в канале транзистора.

Одним из вопросов, вызывающих интерес и дискуссии, остается проблема возникновения шумов типа  $1/f$  в термодинамически равновесных системах. Иными словами, может ли тепловой шум Найквиста на низких частотах иметь спектр  $1/f$ ? Существует несколько моделей, которые, в принципе, дают положительный ответ на этот вопрос. В работе Неустроева Л. Н., Осипова В. В., Панащенко О. теоретически показано, что спектр  $1/f$  характеризуется тепловой шум гетероструктуры с туннельным прозрачным диэлектриком.

В работе Б. Орзала и др. (B. Orsal) экспериментально изучены корреляции двойной гетероструктуры GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As. Выяснено, что корреляции достигают максимума вблизи порогового тока лазерной генерации и быстро спадают при его дальнейшем увеличении. В работе Р. Фронена (R. J. Fronen) высказана гипотеза, что в лазерных диодах  $1/f$ -шум связан со спонтанной компонентой излучения.

В работе А. Кила и др. (A. J. Kil) изучаются флуктуации в приборах на квантовом эффекте Холла. Эксперименты проводились на гетероструктуре GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As ( $x=0,34$ ,  $T=1,6$  К). Показано, что спектр шума состоит из двух компонент. Одна из них не зависит от частоты и интерпретируется авторами как тепловой шум. Другая—зависит от частоты и состоит из двух лоренцевских спектров с постоянными времени, соответственно равными 1 и  $10^{-2}$  с.

В одной из опубликованных в сборнике работ П. Хендела развиваются представления о связи шума  $1/f$  с теорией хаоса и турбулентности. Последним вопросам в книге посвящен специальный раздел. Входящие в него работы в основном посвящены теоретическому и экспериментальному исследованию хаотических колебаний в различного рода динамических системах. В работе В. В. Гафийчука, Б. С. Кернера, В. В. Осипова и З. И. Высынюк рассмотрены условия и конкретные механизмы возникновения турбулентности (пространственно временного хаоса), связанные со случайным образованием и исчезновением в неравновесных распределенных средах автосолионов (в одномерном случае—страт). Проведено численное изучение сценариев образования турбулентности в модели неравновесной электрон-дырочной плазмы.

В целом сборник статей отражает существующее состояние экспериментальных и теоретических исследований шумов в различных системах. Он должен вызвать интерес у широкого круга специалистов.

*В. В. Осипов*