

08

Динамический хаос в акустоэлектронных системах

© В.А. Вьюн

Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск

Поступило в Редакцию 6 января 1997 г.

В работе сообщается об экспериментальном наблюдении и исследовании динамического хаоса в акустоэлектронных системах. Для исследований выбран известный в физической акустике и акустоэлектронике объект, в котором обнаружены отмеченные выше его новые нелинейные свойства. Работа дополняет возможности экспериментального моделирования стохастических автоколебаний.

В последнее время в физике и других науках интенсивно исследуются нелинейные динамические системы. Одним из интересных результатов этого исследования является обнаружение стохастических автоколебаний (или динамического хаоса, странных аттракторов) [1–5]. Это явление в различных системах по-прежнему привлекает внимание исследователей.

В настоящей работе экспериментальные исследования выполнены при комнатной температуре на основе слоистых структур пьезоэлектрик–полупроводник ($YZ\text{-LiNbO}_3/n\text{-Si}$) с внешней обратной связью. На рис. 1 показана слоистая структура и предложенная схема ее включения. На противоположных сторонах пьезоэлектрической и полупроводниковой пластин, отделенных воздушным зазором 0.1 мкм, располагаются электроды, с которых снимается напряжение поперечного акустоэлектрического эффекта. (Этот эффект возникает за счет нелинейного акустоэлектронного взаимодействия с носителями заряда полупроводника электрических полей, сопровождающих распространяющуюся в пьезоэлектрике поверхностную акустическую волну [6]). Возбуждение поверхностной акустической волны в пьезоэлектрике осуществляется встречно-штыревым преобразователем [7]. Напряжение поперечного акустоэлектрического эффекта после усиления низкочастотным усилителем подается на амплитудный модулятор, модулирующий сигнал накачки V_0 , идущий с высокочастотного генератора. Затем амплитудно-модулированный высокочастотный сигнал с выхода модулятора пода-

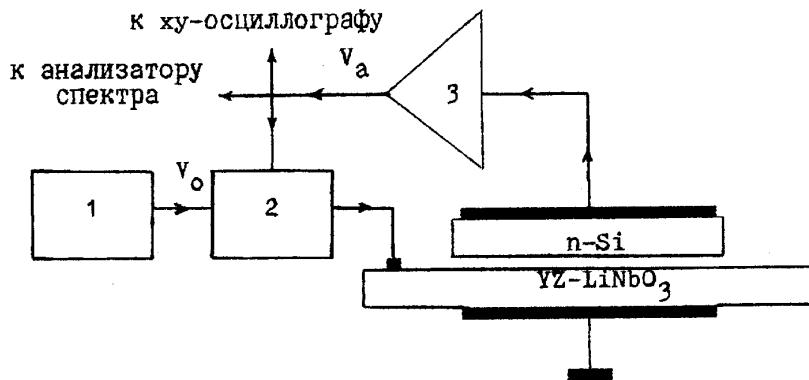


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента: 1 — высокочастотный генератор, 2 — амплитудный модулятор, 3 — низкочастотный усилитель.

ется на преобразователь, возбуждая на этой же частоте амплитудно-модулированные поверхностные акустические волны. В такой схеме с внешней обратной связью глубина модуляции регулируется коэффициентом усиления усилителя и зависит от напряжения поперечного акустоэлектрического эффекта V_a на его выходе. (Преобразователь содержал 12 пар электродов, частота сигнала накачки равнялась 105 МГц, а коэффициент усиления усилителя — 40 дБ).

Слоистая структура пьезоэлектрик–полупроводник выбрана из-за ее нелинейных акустоэлектронных свойств. При этом для получения оптимального нелинейного акустоэлектронного взаимодействия поверхностных акустических волн с учетом расчетов работы [8] в структуре использовался полупроводник n -Si с удельным сопротивлением $4 \text{ кОм} \cdot \text{см}$ и с поверхностью, протравленной и окисленной на воздухе при комнатной температуре. При использовании такого полупроводника поперечный акустоэлектрический эффект являлся ловушечным, его напряжение при включении и выключении поверхностных акустических волн релаксировало с некоторыми характерными временами релаксации. (Такое свойство поперечного акустоэлектрического эффекта, как отмечалось в [9–11], является необходимым условием возникновения автоколебаний напряжения поперечного акустического эффекта релаксационного типа).

Стохастические автоколебания напряжения поперечного акустоэлектрического эффекта возникали в килогерцовом диапазоне частот при

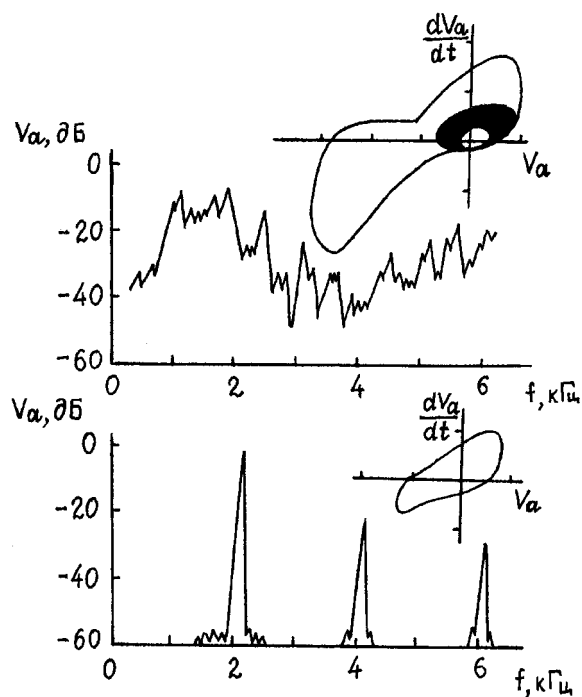


Рис. 2. Фазовые портреты (с масштабом 2 В/дел.) и спектральные зависимости напряжения ПАЭ для стохастических (а) и регулярных (б) автоколебаний.

увеличении напряжения накачки V_0 после того, как система прошла следующие бифуркации. Для значений V_0 ниже 0.9 В автоколебания в системе отсутствовали. При некотором пороговом значении $V_0 = -0.9$ В возникали регулярные автоколебания. Они сначала были квазигармоническими, затем становились сильно нелинейными, а при другом пороговом значении $V_0 = 2.1$ В из регулярных превращались в стохастические. (При возникновении автоколебаний из-за наличия в схеме обратной связи, естественно, осуществлялась автомодуляция поверхностных акустических волн).

Для исследования возникающих автоколебаний в показанной на рис. 1 схеме снимались их фазовые портреты и спектральные зависимо-

сти. Фазовый портрет наблюдался на экране осциллографа при подаче на его пластины напряжения V_a и производной во времени dV_a/dt . Спектральные зависимости снимались непосредственно анализатором спектра сигналов. На рис. 2 показаны полученные фазовые портреты и спектральные зависимости в режиме стохастических автоколебаний при $V_0 = 3.2$ В. На этом же рисунке для сравнения приведены аналогичные зависимости для регулярных автоколебаний при $V_0 = 1.1$ В.

Из представленных на рис. 2 результатов видно, что для стохастических автоколебаний фазовый портрет имеет устойчивый и странный аттракторы, а спектр является сплошным (рис. 2, а). Это отличается от случая регулярных периодических автоколебаний, когда на фазовом портрете есть только один предельный цикл, а спектр имеет на частоте 2 кГц основную и ее кратные гармоники (рис. 2, б). Было установлено, что переход из регулярного режима в стохастический осуществляется через перемежаемость [12], что является одним из сценариев перехода к динамическому хаосу.

Таким образом, в акустоэлектронных системах также возможны стохастические автоколебания, что дополняет известные радиофизические, электронные, полупроводниковые и другие системы (см., например, [1–5, 13, 14]). Для объяснения полученных результатов, в отличие от простейшей феноменологической модели автоколебаний напряжения поперечного акустоэлектрического эффекта [9–11], по видимому, необходимо учитывать несколько типов поверхностных состояний полупроводника с различными временами релаксации заряда на них. При этом фазовое пространство рассматриваемой системы будет иметь размерность больше двух, что является необходимым условием возникновения стохастических автоколебаний [1–5].

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

Список литературы

- [1] Chirikov B.V. // Phys. Rep. 1979. V. 52. № 5. P. 263–380.
- [2] Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 423 с.
- [3] Заславский М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука, 1984. 277 с.
- [4] Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. М.: Мир, 1988. 240 с.

- [5] *Неймарк Ю.И., Ланда П.С.* Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987. 424 с.
- [6] *Гуляев Ю.В., Карабанов А.Ю., Кмита А.М., Медведь А.В., Турсунов Ш.С.* // ФТТ. 1970. Т. 12. № 9. С. 2595–2601.
- [7] *Морган Д.* Устройство обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. М.: Радио и связь, 1990. 416 с.
- [8] *Ууп В.А.* // In: Proceed. 1994. IEEE Ultrasonics Symp. Cannes, France, 1994. P. 441–445.
- [9] *Вьон В.А.* // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 5. С. 14–18.
- [10] *Вьон В.А.* // Поверхность. 1991. № 6. С. 73–77.
- [11] *Ууп В.А.* // Lithuanian J. of Phys. 1995. V. 35. N 5–6. P. 478–483.
- [12] *Манневиле Р., Ротеау У.* // Physica D. 1980. V. 1. N 2. P. 219–226.
- [13] *Шель Э.* Самоорганизация в полупроводниках. Неравновесные фазовые переходы в полупроводниках, обусловленные генерационно-рекомбинационными процессами. М.: Мир, 1991.
- [14] *Дмитриев А.С., Кислов В.Я.* Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989. 280 с.