

©1994 г.

АВТОСОЛИТОНЫ В ТЕМПЕРАТУРНО-НЕОДНОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ ГЕРМАНИЯ

К.М.Алиев, Р.И.Баширов, М.М.Гаджиалиев

Институт физики им.Х.И. Амирханова Российской академии наук, 367003, Махачкала, Россия

(Получено 30 мая 1991 г. Принято к печати 16 октября 1993 г.)

Автосолитоны (АС) могут спонтанно возникать в неравновесной полупроводниковой плазме в результате неустойчивости ее квазиоднородного состояния при изменении уровня возбуждения. В разогретой электронно-дырочной плазме (ЭДП) действует процесс торможения (отрицательная обратная связь) с характерной длиной биполярной диффузии L и процесс активации (положительная обратная связь) с характерной длиной остывания носителей l_e . Необходимым условием существования термодиффузионных автосолитонов в активной распределенной среде является условие $L \gg l_e$, т.е. процесс торможения должен быть более дальнедействующим, чем процесс активации. В последние годы Кернер и Осипов [1,2] в многочисленных работах провели численные эксперименты и развили теорию диссипативных структур (ДС).

На возможность возникновения неустойчивости тока в собственных полупроводниках с различными температурными зависимостями подвижностей электронов и дырок впервые указал Шендер [3]. Более корректно эту задачу решил Грибников [4], который назвал эту неустойчивость термодрейфовой. Термодрейф (b -дрейф) впервые экспериментально наблюдали независимо друг от друга в p -Ge в работе [5] и в n -Ge в работе [6]. Ряд устройств с использованием нового типа дрейфа был предложен в [7,8].

В данной работе приводятся результаты экспериментов, показывающие, что в процессе b -дрейфа спонтанно возникают АС при высоких уровнях возбуждения плазмы вследствие неустойчивости ее квазиоднородного состояния. Были изготовлены образцы из p -Ge с удельным сопротивлением $\rho \simeq 40$ Ом·см двухпьеDESTальной (I образной формы) с размерами рабочей части (перемычки) $1 \times 1 \times 0.25$ мм³. Одним пьесталом (торцом) образец припаивался к холодильнику, который охла-

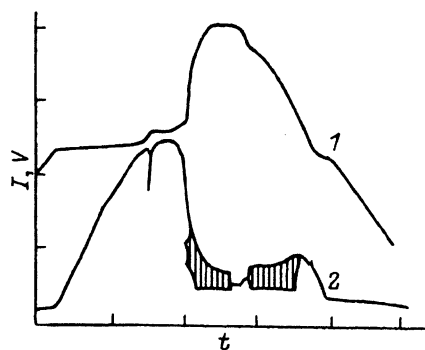


Рис. 1. Временные развертки тока I (1) и напряжения V (2). Масштабы по осям: t — 2 мс/дел., I — 0.5 А/дел. (1), V — 80 В/дел. (2). Температура холодильника 77 К.

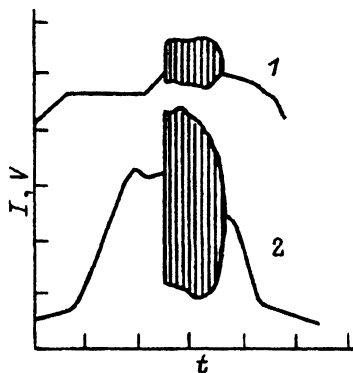


Рис. 2. Временные развертки тока I (1) и напряжения V (2). Масштабы по осям: t — 2 мс/дел., I — 1 А/дел. (1), V — 40 В/дел. (2). Температура холодильника 300 К.

ждался водой или жидким азотом, вдоль образца пропускался переменный ток частотой 50 Гц. Вследствие джоулевого разогрева и отвода тепла холодильником в образце устанавливался постоянный градиент температуры, направленный вдоль или против электрического тока. Возникающий b -дрейф приводил к выпрямлению тока. На рис. 1, 2 приведены временные развертки напряжения и тока при обратном напряжении смещения. На осциллограммах зависимостей $I(t)$, $V(t)$ ясно видны «пички» электрического пробоя образца, связанные с образованием домена. Ранее нами [9] было установлено, что при повышении обратного напряжения на образце проявляется термоградиентный дрейфовый (ТГД) домен — область повышенного сопротивления, обедненная носителями заряда вследствие неравномерного градиента температуры вдоль образца. ТГД домен в пропускном направлении был обнаружен в работе [10]. С повышением напряжения ТГД домен смещается к холодному концу образца, сужается, и электрическое поле в нем возрастает вплоть до пробойного. После пробоя домена сопротивление образца уменьшается и через время, соответствующее времени формирования АС в образце, спонтанно возникает пульсирующий АС. По мере изменения управляющего параметра (напряжения) амплитуда АС сложным образом изменяется. В течение обратного полупериода (в зависимости от амплитуды приложенного напряжения) последовательно возникают и исчезают от 1 до 4 пульсирующих АС. Частота колебаний АС составляет 10^4 Гц, что соответствует теории, $\omega \sim \tau_r^{-1}$, где τ_r — время жизни неравновесных носителей, форма колебаний — релаксационного типа. Экспериментальные условия существования АС удовлетворяют основным требованиям теории [1]. В образце p -Ge с концентрацией дырок $N_A - N_D = 10^{14}$ см $^{-3}$ в результате экстракции носителей b -дрейфом ($\partial T/\partial x \uparrow \downarrow \mathbf{j}$, \mathbf{j} — плотность тока) образуется почти собственная квазинейтральная ЭДП с близкими параметрами электронов и дырок. Когда градиент $\partial T/\partial x$ противоположен направлению плотности тока \mathbf{j} , b -дрейф изменяет (уменьшает) концентрацию дырок

В основном за счет высокой напряженности электрического поля:

$$p(x) - p_0(x) = \frac{np}{q(bn + p^2)} j\tau_r \frac{db}{dx}, \quad (1)$$

где с учетом электрического поля [10]

$$\frac{1}{b} \cdot \frac{db}{dx} = \left[(\alpha - \beta) + AE^2 \right] \frac{1}{T} \cdot \frac{dT}{dx}. \quad (2)$$

Здесь $b = \mu_n/\mu_p$, $(\alpha - \beta)$ — разность показателей в зависимостях $\mu_n \sim T^\alpha$, $\mu_p \sim T^\beta$, q — заряд электрона, E — электрическое поле, p , n — концентрации дырок и электронов, знак A такой же, как у разности $(\alpha - \beta)$, в германии при $T = 300$ К $A = 7 \cdot 10^{-7}$ см²/В². Вклад слагаемого AE^2 в обратном направлении в выражение (1) является существенным.

В условиях нашего эксперимента характерная длина остывания носителей $l_e \simeq 10^{-4}$ см $\ll L \simeq 10^{-2}$ см, $\gamma + S > -1$, где $S = \partial \ln \tau_e / \partial \ln T$, $\gamma = \partial \ln \tau_p / \partial \ln T$, τ_p , τ_e — время релаксации импульса и энергии носителей. Разогревающая ЭДП мощность $N = j/\sigma \sim T/nD(T)$ (D — коэффициент биполярной диффузии) является управляющим параметром системы, который имеет положительную обратную связь с температурой носителей. Термодиффузионный выброс горячей плазмы из центра АС ограничивается диффузионным потоком холодной плазмы от периферии к центру АС с длиной биполярной диффузии. Так как в эксперименте реализуются условия $\tau_p \ll \tau_e \ll \tau$, где $\tau = cT/E^2\sigma$ — характерное время изменения температуры образца, c — теплоемкость единицы объема образца, электрическая подсистема успевает многократно обмениваться с решеткой импульсом и энергией, прежде чем температура образца изменится. Когда холодильник охлаждался водой, наблюдалось возникновение только одного пульсирующего термодиффузионного положительного поперечного АС, причем амплитуда пульсации температуры и электрического поля АС была ограничена полем пробоя ТГД домена.

Эта работа, в частности, была поддержана грантом Международного научного фонда Сороса, присужденным Американским физическим обществом.

Список литературы

- [1] Б.С. Кернер, В.В. Осипов. УФН, **157**, 201 (1989).
- [2] Б.С. Кернер, В.В. Осипов. УФН, **160**, 1 (1990).
- [3] Е.Ф. Шендер. ФТП, **2**, 314 (1968).
- [4] З.С. Грибников. ФТП, **14**, 2188 (1980).
- [5] Х.И. Амирханов, Р.И. Баширов, К.М. Алиев, М.М. Гаджиалиев. Письма ЖТФ, **4**, 660 (1978); А.с. СССР № 699962 (1975).
- [6] В.Н. Добровольский, С.П. Павлюк, Л.И. Тарасенко. ФТП, **11**, 144 (1977).
- [7] Х.И. Амирханов, Р.И. Баширов, К.М. Алиев, М.М. Гаджиалиев. А.с. СССР № 698460 (1977); А.с. СССР № 786744 (1979); А.с. СССР № 838197 (1980); А.с. СССР № 839403 (1979).

- [8] Х.И. Амирханов, Р.И. Баширов, К.М. Алиев, М.М. Гаджиалиев. ЖТФ, **54**, 953 (1984); Патент Канады № 1175478 (1984); Патент Великобритании № 2107520В (1985); Патент Австралии № 544672 (1985); Патент Швеции № 18205848-81986; Патент Италии № 137119 (1986); Патент ФРГ № 3152734С2 (1985); Патент Швейцарии № СН 662445175 (1987).
- [9] Х.И. Амирханов, Р.И. Баширов, В.А. Елизаров. Фото- и электрические явления в полупроводниках, 51. Махачкала (1985).
- [10] В.Н. Добровольский, С.П. Павлюк. ФТП, **15**, 120 (1981).

Редактор Т.А. Полянская
