

©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

(Получена 19 апреля 1993 г. Принята к печати 22 февраля 1994 г.)

Автосолитоны (АС) могут спонтанно возникать в неравновесной полупроводниковой плазме в результате неустойчивости ее однородного состояния при изменении уровня возбуждения. В разогретой ЭДП действует процесс торможения с характерной длиной биполярной диффузии — L и процесс активации 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 ингибирования должен быть более дальнедействующим, чем процесс активации. В последние годы Б.С. Кернер и В.В. Осипов в многочисленных работах провели численные эксперименты и развили теорию диссипативных структур (ДС). Эти и работы других авторов приведены в обзорах [1-2].

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 авторы работы [5], в n -Ge — авторы работы [6]. Ряд устройств с использованием нового типа дрейфа был предложен в [7,8].

В настоящей 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 40-омного p -Ge двухпъедестальной формы (I-образной) с размерами рабочей части (перемычки) $1 \times 1 \times 0.25 \text{ мм}^3$. Одним пьедесталом (торцом) образец припаивался к холодильнику, который охлаждался водой или жидким

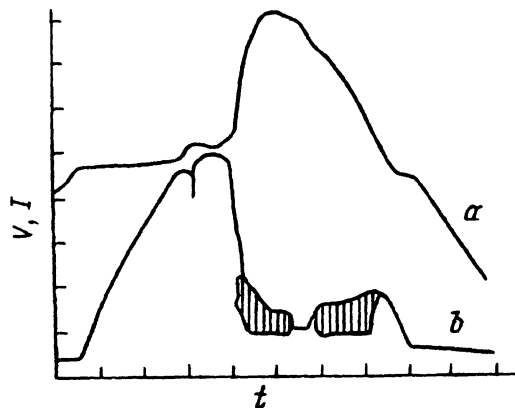


Рис. 1. Временные развертки: *a* — тока, *b* — напряжения. Масштаб по осям: время — 1.3 мс/деление, ток — 0.5 А/деление, напряжение — 80 В/деление. Температура холодильника — 77 К.

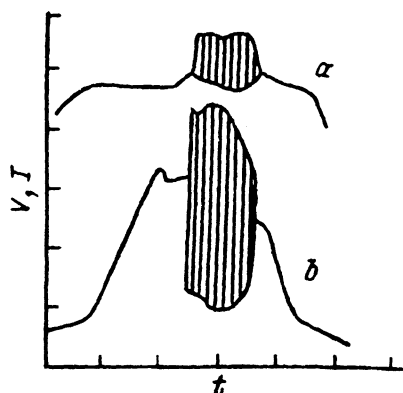


Рис. 2. Временные развертки: *a* — тока, *b* — напряжения. Масштаб по осям: время — 2.9 мс/деление, ток — 1 А/деление, напряжение — 40 В/деление. Температура холодильника — 300 К.

азотом. Через антизапорные контакты на торцах вдоль образца пропускался переменный ток частотой 50 Гц. Вследствие джоулевого разогрева и отвода тепла холодильником в образце устанавливался постоянный градиент температуры, направленный вдоль ($\uparrow\uparrow$) или против ($\downarrow\downarrow$) электрического тока. Возникающий *b*-дрейф приводил к выпрямлению тока.

На рис. 1,2 приведены временные развертки напряжения и тока в обратном направлении. На осциллограммах $I(t)$, $V(t)$ ясно видны «пички» от электрического пробоя домена образца. Ранее нами [9] было установлено, что при повышении обратного напряжения на образце появляется термоградиентный дрейфовый (ТГД) домен — область повышенного сопротивления, обусловленная обеднением носителей 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 формирования АС в образце спонтанно возникает пульсирующий АС. По мере изменения управляющего параметра амплитуда АС сложным образом изменяется. В течение обратного полупериода в зависимости от амплитуды приложенного напряжения последовательно возникают и исчезают от одного до четырех пульсирующих АС. Частота колебаний АС составляет $\omega \approx 10^4$ Гц, что соответствует теории $\omega = \tau_r^{-1}$, 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 ($\frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \downarrow \downarrow \vec{j}$) образуется

почти собственная квазинейтральная ЭДП с близкими параметрами электронов и дырок.

Отметим, что b -дрейф в обратном направлении ($\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \uparrow \uparrow \bar{j}$) 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]

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

Здесь $b = \mu_p/\mu_n$, если $\mu_n \sim T^\alpha$, $\mu_p \sim T^\beta$, $\alpha - \beta = 0.67$; q — заряд электрона; j — плотность тока; E — электрическое поле; p , n — концентрация дырок и электронов.

В германии при $T = 300$ К $A = 7 \cdot 10^{-7}$ см²/В² его знак такой же, как у $(\alpha - \beta)$. Вклад слагаемого AE^2 в обратном направлении в (1) является существенным.

В условиях нашего эксперимента характерная длина остывания носителей $l_e \simeq 10^{-4}$ см $\ll L \simeq 10^{-2}$ см, где $\alpha + S > -1$. $S = \partial \ln \tau_e / \partial T$, $\alpha = \partial \ln \tau_p / \partial T$; τ_p , τ_e — время релаксации импульса и энергии носителей.

Разогревающая ЭДП мощность $N = \gamma^2/\sigma \sim T/nD(T)$ является управляющим параметром системы, который имеет обратную положительную связь с температурой носителя. Термодиффузионный выброс горячей плазмы из центра АС ограничивается диффузионным потоком холодной плазмы от периферии к центру АС с длиной биполярной диффузии. D — коэффициент биполярной диффузии.

Так как в эксперименте реализуются условия $\tau_p \ll \tau_e \ll \tau$, где $\tau = cT/E^2\sigma$ — время остывания или нагрева образца, электронная подсистема успевает многократно обмениваться с решеткой импульсом, энергией, прежде чем температура образца изменится. Здесь c — теплоемкость единицы объема образца.

Когда холодильник охлаждался водой, наблюдалось возникновение только одного пульсирующего термодиффузионного положительного поперечного АС. Причем амплитуда пульсации температуры и электрического поля АС ограничена полем пробоя ТГД домена.

Эта работа, в частности, была поддержана грантом 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. Ваширов, К.М. Алиев, М.М. Гаджиалиев. Письма ЖТФ, **4**, 660 (1978); А. с. СССР № 699962 (с приоритетом от 1975 г.).
- [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); Пат. Канады № 1175478 (1984); Пат. Великобритании № 2107520В (1985); Пат. Австралии № 544672 (1985); Пат. Швеции № 8205848 (1986); Пат. Италии № 137119 (1986); Пат. ФРГ № 3152734С2 (1985); Пат. Швейцарии № СН 662445175 (1987).
- [9] Х.И. Амирханов, Р.И. Баширов, В.А. Елизаров. *Фото- и электрические явления в полупроводниках* (Махачкала, 1985) с. 51.
- [10] В.Н. Добровольский, С.П. Павлюк. ФТП, 15, 120 (1981).

Редактор В.В. Чалдышев

Autosolitons in the Temperature-Inhomogeneous Plasma in Germanium

K.M.Aliev, R.I.Bashirov, and M.M.Gadjaliev

Kh.I.Amirhanov Institute of Physics of the Russian Academy of Sciences, 367033, Makhachkala, Russia