Известия НАН Армении, Физика, т.39, №6, с.398-401 (2004)

УДК 537.87

НЕЙТРАЛЬНО-УСТОЙЧИВОЕ СОСТОЯНИЕ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ФЛУКТУАЦИИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МУЛЬТИСТАБИЛЬНОЙ ПЛАЗМЕ

Г.Г. ВАРДАНЯН, А.А. МАКАРЯН, Ш.Ж. МАРТИРОСЯН, Г.Г. НИКОГОСЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 2 февраля 2004 г.)

Исследовано поведение флуктуации напряжения на p–n-переходах в мультистабильной электронно-дырочной плазме. В областях с отрицательным дифференциальным сопротивлением из-за неустойчивости организуется диссипативная структура, которая видоизменяет потенциал для самой флуктуации. Показано, что существует такое состояние, когда флуктуация совершает нейтрально-устойчивое периодическое незатухающее движение.

В полупроводниковой плазме с участком отрицательного дифференциального сопротивления R_g на вольтамперной характеристике хорошо изучены явления флуктуационной неустойчивости [1]. Настоящая работа посвящена исследованию явления возможной самоорганизации в мультистабильной плазме [2].

Существуют условия [3], при которых функционирование электронно-дырочной плазмы (ЭДП) в биполярной полупроводниковой структуре обусловлено исключительно внутренними процессами. В частности, плазму можно считать изолированной, когда отсутствует пространственно-временная зависимость полного напряжения $V = \sum V_i(j)$ и тока $I : \delta V = 0,\ \delta I = 0$. Система уравнений относительно возмущений напряжений δV_k имеет следующий вид:

$$c_{k-1}\frac{\partial}{\partial t}\delta V_{k-1} - c_k\frac{\partial}{\partial t}\delta V_k = -w_k\sigma_k\sum_{i=1}^{k-1}\Delta\delta V_i + U_k\left[\{V_i\};V(\{V_i\});\{\delta V_i\}\right]\delta V_k; \qquad (1)$$

$$U_k\left[\{V_i\};V(\{V_i\});\{\delta V_i\}\right] \equiv \frac{P_k(\{V_i+\delta V_i\};V) - P_k(\{V_i\};V)}{\delta V_k}, \qquad (2)$$

где c_k – емкость единичной площади p–n-перехода, V_k – напряжение на k-ом переходе, w_k – длина k-ой квазинейтральной области, σ_k – удельная проводимость, Δ – двумерный оператор Лапласа, j_k – плотность тока через k-ый переход, а $P_k \equiv j_k - j_{k-1}$ [4]. Здесь величины U_k играют роль потен-

циальной энергии, являются регулярными функциями V_k и зависят также от амплитуд возмущений. Для симметричных четырехслойных структур (симметричный тиристор или симистор), которые являются модельными при исследованиях мультистабильных систем, $V_1 \equiv V_3$, однако между δV_1 и δV_3 существует более общая связь $\delta V_1 + \delta V_2 + \delta V_3 \equiv \delta V = 0$. Но если в потенциале (2) ограничиться линейной вариацией

$$U_{0k} = \sum_i \frac{\partial P_k}{\partial V_i} = -\frac{\partial P}{\partial V}\frac{\partial V}{\partial V_1} \equiv -\frac{\partial P}{\partial V} R_g \equiv U_0,$$

то временная зависимость флуктуаций становится мультипликативной:

$$\delta V_k(x,t) = \exp(-\lambda_k t)\cdot\psi_k(x). \qquad (3)$$

Для данного случая $\lambda_1 = \lambda_k$, поэтому $\psi_1(x) = \psi_3(x)$. Далее рассмотрим именно такую симметричную структуру во внешнем электрическом поле, направленном по оси z, и флуктуации напряжения, зависящие от координаты x. Стационарные неравновесные состояния ЭДП [4] и поведение флуктуации описываются уравнениями

$$\Delta V_1 = P[V_1(x), V(V_1(x))], \qquad -w_2\sigma_2\psi'' + U_0[V_1, V(V_1), \psi]\cdot\psi = \lambda\psi. \qquad (4)$$

Второе уравнение в (4) представляет флуктуацию в качестве квазичастицы с массой $m = \hbar^2 / 2w_2\sigma_2$ и волновой функцией $\psi(x)$ в потенциальном поле $U_0[V_1(x), V(V_1), \psi(x)]$, которое полностью определяет стационарное состояние ЭДП (первое уравнение в (4)), т.е. гамильтониан

$$\hat{H}_0 = -\frac{\hbar^2}{2m}\cdot\frac{d^2}{dx^2} + U_0(x,V). \qquad (5)$$

Из уравнений (4) для электрического поля E_x и флуктуации ψ получим:

$$E_x(0) = E_x(l); \quad \hat{H}_0 E_x = 0; \quad \psi'(0) = \psi'(l); \quad \hat{H}_0\psi = 0. \qquad (6)$$

Уравнения (6) допускают тривиальное решение $E_x = 0$ (а также $\psi \equiv 0$), которое соответствует однородному поперечному распределению поля (или тока, т.е. случаю $P \equiv 0$). Возможно нетривиальное решение, когда $E_x(x)$ является собственной функцией оператора $\hat{H}_0$ для собственного значения $\lambda_E \equiv 0$.

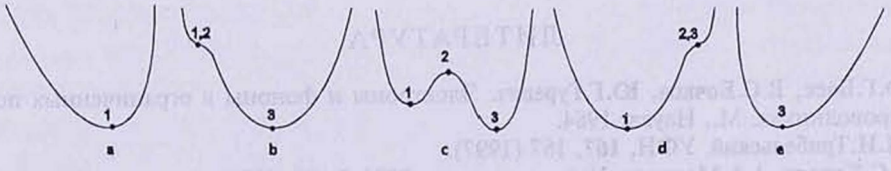

Рис.1. Эволюция потенциала флуктуации U_0 в зависимости от значения полного напряжения на структуре V.

Из условия $U_0 > 0$ вытекает его независимость от координат. Эволюция U_0 в зависимости от V показана на рис.1. Состояние 2 на рис.1 на фазовой плоскости представляется гиперболической точкой (седлом, точкой пересечения сепаратрис) и является неустойчивым.

В предположении неизменности макросостояний ЭДП при отрицательных значениях полного дифференциального сопротивления $R_g < 0$, солитоноподобная квазичастица флуктуации (для краткости назовем флуктуоном), совершая инфинитное движение, увеличивает свою энергию и возмущает потенциальную энергию. Энергия претерпевает качественные изменения и становится зависимой от координат (организуется диссипативная структура), формируется потенциальная яма для обеспечения существования стационарных состояний флуктуона (т.е. финитности движения). Зависимость $U_0(x)$ качественно повторяет $U_0(V_1)$. Возмущенный потенциал представлен пунктиром на рис.2.

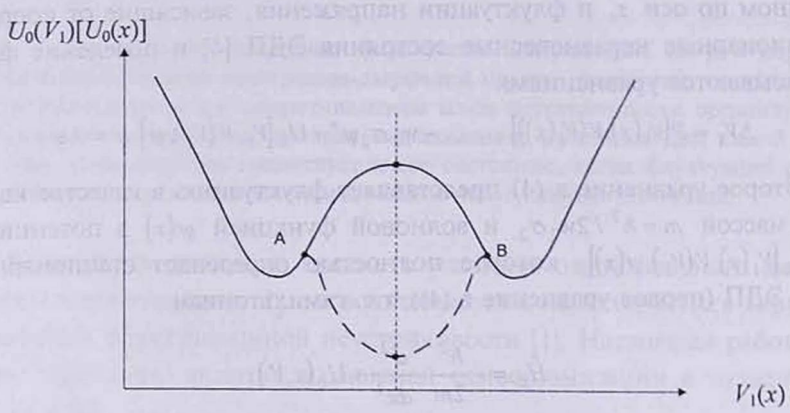

Рис.2. Потенциал флуктуации до (сплошная линия) и после (пунктирная линия) образования нейтрально-устойчивого состояния.

Благодаря малой "массе", длина волны флуктуона велика, и он может испытывать "отражение" и "проходить" через барьеры (явление туннелирования) на малых выступах A и B (рис.2). В результате формируется устойчивое стационарное состояние для флуктуона.

Таким образом, для устойчивости ЭДП в ней должны существовать стационарные волны возмущения плотности частиц, токов и полей макроскопических размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ф.Г.Басс, В.С.Бочков, Ю.Г.Гуревич.** Электроны и фононы в ограниченных полупроводниках. М., Наука, 1984.
2. **М.И.Трибельский**. УФН, **167**, 167 (1997).
3. **Г.С.Караян, А.А.Макарян**. Ученые записки ЕГУ, **3**, 65 (1984).
4. **Г.С.Караян, А.А.Макарян**. Изв. НАН Армении, Физика, **34**, 308 (1999).

ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴՉԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱՎԻՃԱԿ ՊԼԱԶՄԱՅՈՒՄ ՄԱԿՐՈՍԿՈՊԻԿ ՖԼՈՒԿՏՈՒԱՑԻԱՅԻ ՉԵԶՈՔ-ԿԱՅՈՒՆ ՎԻՃԱԿԸ

Հ.Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ա.Հ. ՄԱԿԱՐՅԱՆ, Շ.Ժ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Գ.Գ. ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ

Ուսումնասիրված է *p–n*-անցումների վրա լարման ֆլուկտուացիաների վարքը բազմավիճակ էլեկտրոնախոռոչային պլազմայում: Վոլտամպերային բնութագծի բացասական դիֆերենցիալ դիմադրության տիրույթներում անկայունության հետևանքով ձևավորվում է դիսիպատիվ կառուցվածք, որը ձևափոխում է ֆլուկտուացիայի պոտենցիալը: Ցույց է տրված, որ գոյություն ունի այնպիսի վիճակ, երբ ֆլուկտուացիան կատարում է չմարող չեզոք-կայուն պարբերական շարժում:

NEUTRAL-STEADY STATES OF MACROSCOPICAL FLUCTUATION IN SEMICONDUCTOR MULTISTABLE PLASMA

H.H. VARDANYAN, A.H. MAKARYAN, Sh.J. MARTIROSYAN, G.G. NIKOGHOSYAN

The behavior of fluctuation of a voltage on the *p–n*-junctions in multistable electron-hole plasma is investigated. In areas with negative differential resistance, due to the instability, the dissipative structure is organized which alters potential for the fluctuation. It is shown that there is such condition when the fluctuation makes a neutral-steady periodic movement.