

УДК 621

Самомодуляция динамической емкости в автогенераторах на диодах Ганна

И. Н. Антонов, А. Г. Лавкин

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов, Россия

Показано, что в диоде Ганна при определенных условиях наблюдаются колебательные явления в области сильного электрического поля (домена). Это явление можно интерпретировать как самомодуляцию динамической емкости диода Ганна в ее эквивалентном представлении.

Достаточно сильное электрическое поле вызывает в однородных образцах GaAs спонтанное колебание тока. Несмотря на исходную однородность физических свойств образца GaAs в нем появляется внутренняя неоднородность — локальная область (домен) сильного электрического поля, движущаяся через образец в направлении дрейфа электронов [1].

В данной работе выполняется оценка скорости роста домена на основе правила равных площадей [2]. Предположим, что домен движется со скоростью v . Тогда изменение заряда Q в обогащенном слое описывается уравнением

$$\frac{d(QS)}{dt} = en_0(v(E_0) - v), \quad (1)$$

где Q — заряд обогащенного слоя;

$v(E_0)$ — скорость домена как функция от величины напряженности электрического поля E_0 ;

v — максимальная скорость домена;

S — сечение образца GaAs.

Можно предположить, что при частотах, меньших частоты диэлектрической релаксации, домен ведет себя эквивалентно статическому отрицательному сопротивлению. Присутствие заряда в домене обеспечивает ток

$$\frac{d(QS)}{dt} = \frac{d(U_d C_d)}{dt},$$

где U_d — напряжение на домене;

C_d — динамическая емкость домена.

Емкость домена — нелинейная величина, и для корректного решения задачи о включении образца с доменом в СВЧ-цепь следует учесть и этот фактор.

Исследуем колебательные процессы в СВЧ-генераторах на диодах Ганна, используя при этом уравнение непрерывности, уравнение движения носителей заряда, уравнение Пуассона и выражение для плотности переменного дрейфового тока. Здесь все динамические величины будут функциями продольной координаты x (одномерная задача [3]) и времени t

$$\frac{\partial J}{\partial x} = -\frac{\partial S}{\partial t};$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{e}{m^*}(E_0 + E_1 + E_2) - \frac{v_1}{\tau_1} - \frac{T}{m_1 \rho_1} \frac{\partial S_1}{\partial x}; \quad (2)$$

$$\epsilon_0 \frac{\partial E_2}{\partial x} = \rho_1; \quad (3)$$

$$J = (v_0 + v_1)\rho + v_1 \rho_0,$$

где

J — плотность переменного дрейфового тока;

v_0, v — скорости: постоянная и переменная (включающая постоянную составляющую v_1);

E_0, E_1, E_2 — составляющие электрического поля: возбуждающее переменное и переменное (обусловленное переменной плотностью объемного заряда);

ρ_0, ρ — плотность объемного заряда: постоянная и переменная (включающая постоянную составляющую);

ϵ, τ, e, m_1 — диэлектрическая постоянная, время релаксации, заряд электрона и эффективная масса носителя.

Из уравнения (2) при $v = v_0 + v_1$ получаем

$$\frac{dv_1}{dt} = \frac{e}{m_1}(E_1 + E_2) - \frac{v_1}{\tau_1}. \quad (4)$$

Уравнение Пуассона можно переписать в виде

$$\frac{\partial J}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon \frac{\partial E_2}{\partial t} \right).$$

Дифференцируя уравнение движения носителей (4) и подставляя в него выражение (3), перепишем в виде

$$\frac{\partial E_2}{\partial x} + \frac{1}{\epsilon} \rho_0 v_1 = 0,$$

получаем

$$\frac{d^2 v_1}{dt^2} \frac{1}{\tau_1} \frac{dv_1}{dt} + \frac{e p_0}{\epsilon m_1} v_1 = \frac{e}{m_1} \frac{\partial E_1}{\partial t}$$

или

$$\frac{d^2 v_1}{dt^2} + \frac{1}{\tau_1} \frac{dv_1}{dt} + \omega_p^2 v_1 = \frac{e}{m_1} \frac{\partial E_1}{\partial t},$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{e p_0}{\epsilon m_1}}$ — плазменная частота.

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения в приближении заданного поля имеет вид

$$v_1 = C \exp\left[-\frac{t-t_0}{\tau_1}\right] \cos[(\omega_p(t-t_0) + \varphi)], \quad (5)$$

где C, φ — произвольные постоянные, которые определяются из начальных условий;

t, t_0 — текущее и начальное время.

Будем считать, что дрейфовая скорость носителей заряда v_1 и $v(E_0)$ равны в установившемся режиме. Из сравнения выражений (1) и (5) следует периодическая зависимость изменения заряда обогащенного слоя Q и как следствие периодическое изменение динамической емкости C_d .

Таким образом, приведенный выше анализ показывает, что при определенных условиях в области сильного электрического поля (домена) наблюдаются колебательные явления. Это явление можно интерпретировать как самомодуляцию динамической емкости Ганна в ее эквивалентном представлении.

Л и т е р а т у р а

1. Давыдова Н. С., Данюшевский Ю. З. Диодные генераторы и усилители СВЧ. — М.: Радио и связь, 1986.
2. Kurokawa K. Semiconductor Phenomena in Devices// Journ. Bell. Syst. Techn., 1967. V. 46. P. 2235—2240.
3. Карпов С. Ю., Столяров С. Н. Распространение и преобразование волн в средах с одномерной периодичностью// УФН. Т. 163. С. 63.

Статья поступила в редакцию 26 октября 2004 г.

Self-modulation of capacity in active oscillators on Gunn diodes

I. N. Antonov, A. G. Lavkin

Saratov State Politechnical University, Saratov, Russia

It has been shown that on certain conditions in Gunn diodes oscillation effects in the area of strong electric field (domain) are observed. This effect can be interpreted as self-modulation of dynamic capacitance of Gunn diode in its equivalent representation.

* * *