

## ДИСПЕРСИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕРАВНОВЕСНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

к.т.н. А.М. Сотников, к.т.н. Г.Ф. Коныхин, к.т.н. А.Ю. Мелашенко,  
к.т.н. З.Ю. Литвина  
(представил проф. В.Е. Пустоваров)

*Рассмотрена возможность качественного изменения дисперсионных свойств многослойных покрытий типа полупроводник –  $\alpha$ -радиоактивный слой. Проанализировано возникновение линейного закона дисперсии в неравновесных состояниях электронной подсистемы твердотельной однородной плазмы покрытия.*

Степенные решения кинетических уравнений Больцмана и Ландау впервые были найдены в [1], где показано, что образующиеся под воздействием постоянных процессов ионизации при распространении  $\alpha$  частиц (или быстрых ионов) в веществе, неравновесные функции распределения имеют степенную асимптотику с показателем степени, зависящим от мощности источника неравновесности.

Эволюцию пространственно однородных систем частиц, подчиняющихся квантовой статистике и находящихся под постоянным воздействием источников и стоков частиц в пространстве энергий изучим на основе кинетического уравнения для изотропной функции распределения частиц по энергии в виде уравнения непрерывности

$$\frac{\partial f}{\partial t} = - \frac{\partial}{g(\epsilon)\partial\epsilon} \prod \{f, f, \epsilon\} + \psi(\epsilon), \quad (1)$$

где  $\prod \{f, f, \epsilon\}$  - поток частиц в фазовом пространстве;  $\psi(\epsilon)$  - функция, характеризующая источники и стоки.

Поток можно представить в виде

$$\prod \{f, f, \epsilon\} = \epsilon g(\epsilon) \mathbf{v}(\epsilon) \left[ T_0 \frac{\partial f}{\partial \epsilon} + f - f^2 \right], \quad (2)$$

где  $\mathbf{v}(\epsilon)$  – частота столкновений (для различных механизмов взаимодействия электронов с фононами) [2];  $T_0$  – неравновесная температура.

В качестве источника неравновесности для квазичастиц в полупроводниковых системах можно эффективно использовать дополнительные источники ионизации, возникающие в результате прохождения через твердотельное покрытие быстрых заряженных частиц (ионов) (например,  $\alpha$ -частиц, возникающих при радиоактивном распаде [3]). При этом

происходит ионизация атомов вещества на длине их пробега и образуются источники в энергетическом пространстве, которые предполагаются локализованными в пространстве энергий. В проведённых экспериментах [3] показано возникновение степенных асимптотик функций распределения электронов в металлах и проанализированы их свойства.

Использование подобных источников в полупроводниковых покрытиях существенно увеличивает возможности по качественному изменению дисперсионных свойств покрытия в неравновесных условиях, так как соотношение между плотностями неравновесной и равновесной компонентами в этом случае могут изменяться в широких пределах и достигать достаточно больших значений.

Для пояснения влияния интенсивности радиоизотопных источников на степень неравновесности состояний электронов в твердом теле приведем результаты численного решения кинетического уравнения (1).

Зависимости функции распределения электронов от мощности источника ионизации продемонстрированы на рис. 1.

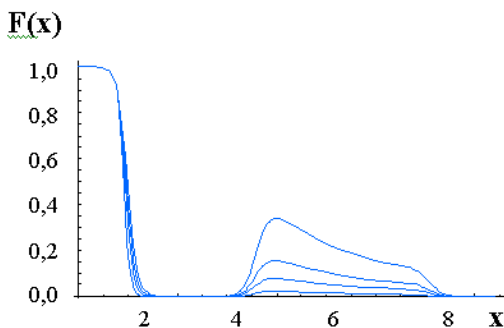


Рис. 1. Графики функций распределения электронов

Двухкомпонентный (в фазовом пространстве) характер функции распределения позволяет вычислить диэлектрическую проницаемость. Дисперсия продольных колебаний в области малых волновых чисел при этом оказывается равной

$$\omega^2 = \frac{\omega_p^2}{1 + \omega_{ps}^2 / q^2 v_i^2}$$

и имеет акустический вид

$$\omega = c_s q; \quad c_s = \sqrt{\frac{n}{n_s}} \cdot v_i \quad \text{при } q \ll \frac{\omega_{ps}}{v_i},$$

где  $c_s$  – скорость акустических колебаний электронов;  $\omega_p$  – плазменная частота;  $q$  – волновой вектор;  $n_s, n$  – равновесная и неравновесная плотности электронов;  $\omega_{ps}$  – частота акустических колебаний;  $v_i$  – скорость ионов.

Это условие характеризует процесс «попадания» фазовой скорости волны в область между равновесной и неравновесной частью функции распределения [3]. Характер зависимости дисперсии плазменных колебаний (плазмонов) от мощности источника приведен на рис. 2.

Такой закон дисперсии можно применять в различных СВЧ-устройствах, используя изменения энергетических потерь заряженных частиц

и особенностей затухания и отражения электромагнитных волн в неравновесной твердотельной плазме.

Таким образом, в работе исследованы изменения дисперсионных свойств полупроводниковых покрытий в результате воздействия источника ионизации, в качестве которого может быть использован  $\alpha$ -радиоактивный слой. Воздействие радиоактивной компоненты может приводить к существенным изменениям и вещественной и мнимой частей диэлектрической проницаемости покрытия такого типа. При этом возможно возникновение линейного закона дисперсии плазменных волн.

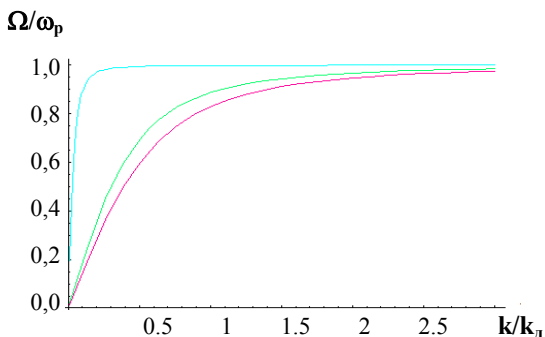


Рис. 2. Закон дисперсии плазмонов для функций распределения  $F(x)$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кац А.В., Конторович В.М., Моисеев С.С., Новиков В.Е. Степенные решения кинетического уравнения Больцмана, описывающие распределения частиц с потоками по спектру // Письма в ЖЭТФ. – 1975. – Т. 21. – С. 13 - 16.
2. Басс Ф.Б., Гуревич Ю.Г. Горячие электроны и сильные электромагнитные волны в плазме полупроводников и газового разряда. – М.: Наука, 1975. – 394 с.
3. Экспериментальное исследование вторичной электронной эмиссии из плёнок, индуцированной  $\alpha$ -частицами / Батракин Е.Н., Залюбовский И.И., Карась В.И. и др. // Поверхность. – 1986. – № 12. – С. 82 - 88.

Поступила 15.08.2002

**СОТНИКОВ Александр Михайлович**, канд. техн. наук, доцент, нач. кафедры ХВУ. В 1980 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, эффективность радионавигационных систем, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

**КОНЯХИН Григорий Фатеевич**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры ХВУ. В 1961 году окончил ХВАИУ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, эффективность радионавигационных систем, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

**МЕЛАШЕНКО Александр Юрьевич**, канд. техн. наук, зам. нач. кафедры ХВУ. В 1985 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

**ЛИТВИНА Злата Юрьевна**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры ХВУ. В 1992 году закончила ХГУ. Область научных интересов – организация связи со спускаемыми ЛА, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.