

УДАРНАЯ ИОНИЗАЦИЯ В ДИОДАХ ГАННА

А.А. Степанов, доцент, канд. ф.-м. н, ХНАДУ,
В.А. Шевцов, студент, ХНАДУ

Аннотация. На основе методики описания умножение носителей заряда вследствие ударной ионизации в движущемся домене сильного электрического поля. Рассматриваются соотношения концентраций электронов и дырок в домене и вне его. Анализируется система уравнений, позволяющих определить эти концентрации как функции тока.

Ключевые слова: ударная ионизация, домен, умножение носителей, время жизни электронов и дырок, концентрации носителей.

УДАРНА ІОНІЗАЦІЯ В ДІОДАХ ГАННА

О.О. Степанов, доцент, канд. ф.-м. н, ХНАДУ,
В.О. Шевцов, студент, ХНАДУ

Анотація. На основі методики опису множення носіїв заряду внаслідок ударної іонізації в домені сильного електричного поля що рухається. Розглядаються співвідношення концентрацій електронів і дірок у домені і поза ним. Аналізується система рівнянь, що дозволяють визначити ці концентрації як функції струму.

Ключові слова: ударна іонізація, домен, множення носіїв, час життя електронів і дірок, концентрації носіїв.

SHOCK IONIZATION IN GANN'S DIODES

A. Stepanov, associate professor, cand. Sc., Phys. and math., KhNAHU,
V. Shevtsov, student, KhNAHU

Abstract. On the basis of a technique of the description multiplication of carriers of a charge caused by impact ionization in a moving domain of a strong electric field correlation of concentrations electrons and holes in the domain and out of it has been considered. The system of the equations has been analyzed, allowing to define these concentration as current functions.

Key words: Shock ionization, the domain, multiplication of carriers, lifetime electrons and holes, concentration of carriers.

Введение

Предлагается методика описания умножения носителей заряда вследствие ударной ионизации в движущемся домене сильного электрического поля, позволяющая анализировать соотношения концентраций электронов и дырок вне и внутри домена в зависимости от его скорости. Используются сведения из ре-

шения кинетических уравнений для двухдолинных полупроводников типа GaAs в сильных электрических полях.

Анализ публикаций

Эта работа продолжает наши исследования процессов ударной ионизации в диодах Ганна, изложенные в [1-4], где не учитывалось

распределение электронов и дырок по образцу GaAs с доменом сильного поля в условиях умножения.

Цель и постановка задачи

Изучим теперь особенности соотношений концентраций носителей в движущемся домене сильного электрического поля и образце полупроводника в зависимости от величины протекающего через него тока.

Основная система уравнений, описывающих соотношение концентраций

Для получения соотношения концентраций носителей вне и внутри домена обратимся к формулам в [1]:

$$I_n(x) = I_{n\text{вер}} \exp \int_0^x \frac{\alpha dx}{v_n - v_D}, \quad (1)$$

и

$$I_p(x) = I_{p\text{вер}} - \int_0^x \frac{\alpha I_n(x) dx}{v_n (1 + \frac{v_D}{v_p})} \quad (2)$$

Формула (1) относится к потоку электронов внутри домена, дрейфовая скорость которых насыщена и равна v_n . Тогда для концентрации электронов $n(x)$ получим:

$$n(x) = \frac{I_n(x)}{v_n} = n_{\text{вер}} \exp \int_0^x \frac{\alpha dx}{v_n - v_D}, \quad (3)$$

где

$$n_{\text{вер}} = \frac{I_{n\text{вер}}}{v_n}.$$

Считаем также насыщенной и скорость дырок внутри домена. Тогда из (2):

$$p(x) = p_{\text{вер}} - \int_0^x \frac{dn(x) dx}{v_p + v_D}. \quad (4)$$

Подставляя (3) в (4) найдем:

$$p(x) = p_{\text{вер}} - n_{\text{вер}} \int_0^x \frac{\alpha dx (\exp \int_0^x \frac{\alpha dx}{v_n - v_D})}{v_p + v_D} \quad (5)$$

В том случае, если умножение можно считать слабым, $\frac{\alpha L_D}{v_n} < 1$, (5) упрощается и принимает вид:

$$p(x) = p_{\text{вер}} - n_{\text{вер}} \int_0^x \frac{\alpha dx}{v_p + v_D}. \quad (6)$$

Подставляя теперь в (6) $x = L_D$, что отвечает границе домена, где концентрация дырок уже сравнивается с внешней, получим:

$$p_{\text{вер}} = p_{\text{вн}} \frac{v_{pE_1}}{v_p} + n_{\text{вер}} \int_0^{L_D} \frac{\alpha dx}{v_p + v_D}. \quad (7)$$

При выводе (7) мы учли, что близи границы дрейфовая скорость дырок уже не может считаться насыщенной, а имеет значение v_{pE_1} . Так как $v_{pE_1} < v_p$, то из (7) мы можем получить разные соотношения между концентрациями дырок вне домена и на вершине домена. Так, при слабом умножении, если второй член в (7) меньше первого, $p_{\text{вер}}$ будет меньше $p_{\text{вн}}$. Во всяком случае (7) показывает, что концентрации дырок на вершине барьера и вне домена не равны, а это значит, что не равны будут и концентрации электронов вне и на вершине домена. Этот результат является одним из важных, что характеризует особенности распределения концентраций в условиях умножения.

Действительно, как вне домена, так и на вершине домена, действует условие квазинейтральности, то есть мы имеем:

$$n_{\text{вн}} = p_{\text{вн}} + n_D, \quad (8)$$

$$n_{\text{вер}} = p_{\text{вер}} + n_D. \quad (9)$$

В условиях умножения уже нельзя пренебречь концентрацией дырок, как вне домена, так и на его вершине, а это значит, перестает быть справедливым результат модели домена для случая, когда

$$n_{вер} = n_{вн}. \quad (10)$$

Из (9) видно, что $n_{вер}$ не меньше, чем n_D . Поэтому в (7) второй член справа тоже может оказаться существенным.

К соотношениям (8) и (9) следует еще прибавить $I = I_{n_{вн}} + I_{p_{вн}}$ (ток смещения на вершине барьера равняется нулю):

$$I = v_p p_{вер} + v_{n_{вер}} n_{вер}. \quad (11)$$

в свою очередь соотношение $I = I_{n_{вн}} + I_{p_{вн}}$ можно записать в следующем виде:

$$I = v_{p_{E_1}} p_{вн} + v_{n_{E_1}} n_{вн}. \quad (12)$$

Система вышеприведенных уравнений (7), (8), (9), (12), а также соотношение $I = I_{n_{вн}} + I_{p_{вн}}$ позволяют определить $p_{вер}$, $n_{вер}$, $p_{вн}$, $n_{вн}$, $v_{n_{вер}}$, как функции тока. В отличие от ранее полученной системы уравнений, которая позволила вычислить нам вольтамперную характеристику (ВАХ), теперь у нас появилась неизвестная величина $v_{n_{вер}}$ - эффективная скорость переноса носителей на вершине барьера. Дело в том, что в отличие от дырок, на вершине барьера нельзя пренебречь диффузной составляющей тока электронов. Так, например, в модели прямоугольного домена, которую мы приняли, $\left(\frac{dn}{dx}\right)_{вер}$ стремиться к бесконечности.

Полученная система уравнений позволяет вычислить интересующие нас концентрации носителей как функции тока. Однако, в ряде случаев, достаточно просто сравнить различные концентрации, а также знать их зависимость от координаты внутри домена.

Выводы

Если мы примем $v_{n_{вер}} > v_{n_{E_1}}$, то концентрация электронов на вершине барьера, всегда меньше, чем вне барьера. В этом же приближении и $p_{вер}$ всегда меньше $p_{вн}$. Однако, вершина барьера представляет собой особую точку. Здесь резко возрастают диффузионные токи основных носителей.

В случае прямоугольного домена мы можем, как угодно близко, находиться к этой точке и в то же время решение в дрейфовом приближении будет сохранено для областей домена вне вершины его.

Литература

1. Авакьянц Г.М., Степанов А.А. Умножение тока в двухдолинных полупроводниках типа GaAs // Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ. – 2001. . – Вып.18. – С.49-51.
2. Авакьянц Г.М., Степанов А.А., Еремина Е.Ф., Умножение тока в двухдолинных полупроводниках типа GaAs. Механизм формирования S-образной неустойчивости // Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ. – 2003. – Вып. 20. – С. 94-96.
3. Авакьянц Г.М., Степанов А.А., Еремина Е.Ф., Умножение тока в двухдолинных полупроводниках типа GaAs. Скорость домена в условиях ударной ионизации // Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ. – 2004. – Вып. 26. – С. 81-83.
4. Авакьянц Г.М., Степанов А.А. Прохождение тока через полупроводник с движущимся доменом // Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ. – 2009. . – Вып.44. – С.47-49.