

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ДИОДОВ С ТУННЕЛЬНЫМИ ГРАНИЦАМИ С УЧЕТОМ МЕЖДОЛИННОГО ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ В GaAs

Прохоров Э. Д., Боцула О. В., Клименко О. А.
Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
4, пл. Свободы, Харьков, 61077, Украина
Тел.(0572) 7051262, e-mail: e.d.prokhorov@mail.ru

Аннотация — Рассматриваются энергетические и частотные характеристики диодов, в которых при определенных напряжениях между омическими контактами возникает отрицательная дифференциальная проводимость (ОДП) за счет туннелирования электронов через боковые границы диода и междолинного переноса электронов (МПЭ). Показана возможность генерации и умножения частоты с помощью таких диодов в мм-диапазоне.

I. Введение

Рассматриваются возможности генерации и умножения частоты диодами, в которых при определенных напряжениях между омическими контактами возникает отрицательная дифференциальная проводимость за счет туннелирования и междолинного переноса электронов [1, 2, 3].

II. Основная часть

Диоды с туннельной границей (ТГ) в планарном и «сэндвич» вариантах рассмотрены ранее [1-3]. Напряжение между катодом и анодом таково, что туннельный n^+-p^+ переход (переход резкий с толщиной 100 - 150 Å, в котором туннельная составляющая тока намного больше диффузионно-дрейфовой составляющей) включен в прямом направлении [4-7]. P^+ -область ТГ соединена с анодом. Суммарный ток через n^+-p^+ переход – $I_{ТГ}$. При увеличении напряжения на диоде U токи $I_{ТГ}$ и $I_{А-К}$ растут до тех пор, пока ток ТГ не достигнет максимального значения. При дальнейшем увеличении напряжения ток ТГ резко уменьшается, что приводит к уменьшению тока между катодом и анодом диода. При последующем увеличении напряжения U ток $I_{ТГ}$ возрастает. В докладе рассматривается структура типа «сэндвич».

Эквивалентная схема такой структуры представляет собой проводимость ТГ, параллельно которой включена емкость ТГ – C . Последовательно с ТГ включено сопротивление R_2 , состоящее из сопротивления потерь R_s и сопротивления между ТГ и катодом. Ёмкость А-К намного меньше емкости ТГ ($l_1 \gg l_2$, l_1 - расстояние А-К, l_2 - расстояние между ТГ и катодом). Сопротивление R_1 (сопротивление канала между анодом и катодом) включенно параллельно ТГ и R_2 . Сопротивления зависят от приложенного напряжения к диоду, поскольку в материалах этих сопротивлений подвижность и дрейфовая скорость зависят от напряженности электрического поля [8, 9].

Отсюда следуют два варианта:

1. Диод выполнен на полупроводниках с зависимостями $\nu(E)$ без ОДП, тогда его вольтамперная характеристика (ВАХ), энергетические и частотные характеристики определяет ТГ (Ge.Si);

2. Диод выполнен на основе полупроводника с зависимостью $\nu(E)$, имеющей участок ОДП, и тогда его энергетические и частотные характеристики бу-

дут определяться не только ТГ, но и междолинным переносом электронов в области анод-катод. В анализе учтена емкость ТГ, которая шунтирует активную проводимость ТГ.

Зависимости тока от приложенного к диоду напряжения для описанных случаев показаны на рис. 1.

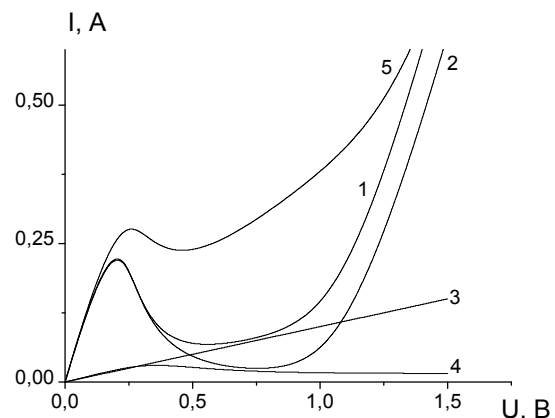


Рис. 1. ВАХ диода с ТГ для GaAs: 1- общий ток при $R_1=10$ Ом, 2 - общий ток при $R_1=f(U)$, 3- ток через $R_1=10$ Ом, 4 - ток через $R_1=f(U)$, 5 - общий ток при $R_1=f(U)$ на частоте 80 ГГц.

Рис. 1. Diode volt-ampere characteristic with TB for GaAs: 1- public current, when $R_1=f(U)$, 3- current through $R_1=10$ ohm, 4 – current through $R_1=f(U)$, 5 - public current, when $R_1=f(U)$ on a frequency of 80 GHz

Учитывался междолинный перенос электронов в промежутке анод-катод. В режиме однородного поля использовались частотные зависимости $\nu(E)$, рассчитанные многочастичным методом Монте-Карло [10] для GaAs.

Если ток, обусловленный МПЭ мал по сравнению с туннельным током, то основной вклад в частотные зависимости будет вносить туннелирование. Это показано на рис. 2. Если ток через сопротивление $R_1(U)$ за счет МПЭ сравним с током через ТГ, то может возникнуть ситуация, когда суммирование токов через ТГ и через промежуток А-К приведет к двум участкам ОДП на ВАХ диода и двум зонам генерации. Если токи сравнимы, то МПЭ в канале А-К будет влиять на запаздывание суммарного тока по отношению к приложенному напряжению и частотную зависимость эффективности генерации. В докладе приводятся энергетические характеристики при работе на основной частоте, в случае генерации на гармониках и умножения частоты на второй и третьей гармониках.

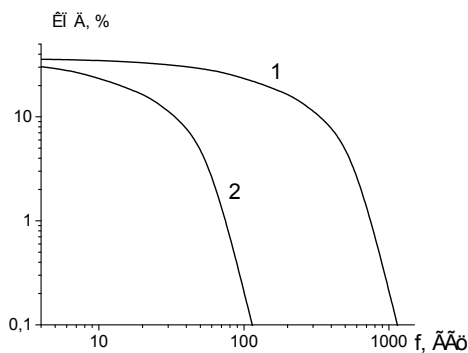


Рис. 2. Зависимость эффективности генерации от частоты для диода с ТГ при емкостях: 1 – 0,1 пФ, 2 – 1 пФ.

Fig. 2. Dependence of efficiency of generation on frequency for the diode with TB with capacities: 1 – 0,1 pf, 2 – 1 pf

III. Заключение

Учет междолинного переноса электронов в промежутке анод-катод диода с ТГ изменяет ОДП диода, расширяет диапазон генерации диода по напряжению и увеличивает КПД генерации в этом диапазоне.

Показано, что параметры диода с ТГ определяют диапазон генерации по напряжению и максимальные значения КПД в этом диапазоне; максимальные значения КПД на низких частотах составляют 26-32 % при рассеиваемых мощностях до 200 мВт.

Максимальные частоты генерации при микроразмерах структуры (площади $10^{-7} \dots 10^{-6} \text{ см}^2$) находятся в коротковолновой части мм-диапазона и длинноволновой части субмиллиметрового диапазонов (120...1000 ГГц).

Диод с ТГ может эффективно преобразовывать входные сигналы см- и мм-диапазонов в частоты второй и третьей гармоник мм-диапазона в том числе на частотах, на которых в диоде отсутствует ОДП.

IV. Список литературы

1. Прохоров Э. Д., Боцула О. В. Отрицательная дифференциальная проводимость полупроводникового диода с туннельными боковыми границами // Радиофизика и электроника.- 2010.- 15, № 2.- С. 109-113.
2. Прохоров Э. Д., Боцула О. В., Клименко О. А. Импедансные характеристики диодов с туннельными и резонансно-туннельными границами // Радиофизика и электроника.- 2011., -16.-№1, С. 54-59.
3. Прохоров Э. Д., Боцула О. В. ОДП диода с туннельными и резонансно-туннельными границами, Материалы 20 Межд. Крымской конф.-" СВЧ техника и телекоммуникационные технологии", Севастополь, КрыМиКо-2010, , т.1, с. 218-219.
4. Esaki L. New Phenomenon in Narrow Germanium p-n junction // Phys.Rev.- 1958.-109. -p. 603-605.
5. Hall R.N. Tunnel diodes, IRE Trans.Electron Devices, ED-17, 1960, 1.
6. Carr W. N. Reversible degradation effects in tunnel diodes, //Solid state electron., 1962, 5, 520.
7. Holonyak Nic. Evidences of state in the forbidden gap of degenerate GaAs and InP – secondary tunnel current and negative resistance, //J. Appl. Phys., 1960, 31, 130.
8. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 т. Т. 2. - М.: Мир, 1984. - 456 с.
9. Прохоров Э. Д. Твердотельная электроника.- Х: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2008.-544 с.
10. Иващенко В. М., Митин В. В. Моделирование кинетических явлений в полупроводниках. Метод Монте – Карло.- К: Наукова думка, 1990.

EFFICIENCY OF TUNNEL FRAME DIODES GENERATION ALLOWING FOR ELECTRONS INTERVALLEY TRANSFER IN GaAs

E. D. Prokhorov, O. V. Botsula, O. A. Klymenko
Karazin National University of Kharkov
Svobody Square, 4, Kharkov, 61077, Ukraine
tel. (0572)7051262, e-mail: e.d.prokhorov@mail.ru

Abstract — The study is based on power and frequency-response characteristics of diodes, in which at certain voltages the NDC (negative differential conductance) occurs between ohmic connections due to electron tunneling through diode's side edges and due to intervalley transfer of electrons. The ability of generation and frequency multiplication using such diodes in the MM-range is shown.

The possibilities of generation and frequency multiplication by diodes, in which at certain voltages between ohmic connections there appears negative differential conductance due to tunneling and electrons intervalley transfer.

An equivalent scheme of such a structure is represented by the TB conductivity, where the TB-C capacitor is turned on in parallel to it. The resistance R2 is switched in sequential order to the TB. It consists of the loss resistance R_s and the resistance between the TB and a cathode. The resistance R1 (the resistance of the channel between anode and cathode) is switched in parallel to the TB and R2. The resistance depends on the voltage applied to the diode, since in materials of this resistance the mobility and drift speed depend on the electric-field intensity.

Two variants follow from here:

1. The semiconductor diode with dependences $\nu(E)$ without NDC then its VAC (volt-ampere characteristic), power and frequency characteristics are defined by TB (Ge, Si);
2. The diode is made on the basis of a semiconductor with the dependence $\nu(E)$ having site of NDC and then its power and frequency characteristics will be defined not only by TB but also by the electron intervalley transfer in the anode-cathode area. Besides, the TB capacity which shunts electrical conductance TB is taken into account. The dependences of current on the pressure applied to the diode for the described cases are shown in Fig. 1.

The electron intervalley transfer in the interval anode-cathode was also taken into account. In the mode of a homogeneous field, the frequency dependencies $\nu(E)$ calculated by a multiparticle Monte-Carlo method for GaAs were used. If the current caused by the electron intervalley transfer is small in comparison with a tunnel current, then the basic contribution to the frequency dependencies will be made by tunneling. It is shown in the Fig. 2.