

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хирт Дж., Лоте Н. Теория дислокаций.—М.: Атомиздат, 1972.—200 с.
2. А. с. 1289201 СССР. Способ определения распределения механических напряжений в монокристаллах, / С. А. Анчаракян, К. Т. Аветян, П. А. Безирганян, М. М. Аракелян, (СССР) — № 3875969. Заяв. 21.2.85, Опубл. 8.10.86.—3 с.
3. Филокенто-Бородич М. М. Теория упругости.—М.: Гостехиздат, 1947.—117 с.
4. Блистанов А. А. и др. Акустические кристаллы.—М.: Наука, 1982.—44 с.
5. Erofeev N. E., Nikitenko V. I., Osvenzki V. B. Effect of impurities on the Individual Dislocation Mobility in Silicon // Phys. stat. sol. — 1969. — V. 35. — P. 79—88.
6. Аветян К. Т., Багдасарян Т. Г., Анчаракян С. А. Наблюдение возникновения и движения дислокаций в кристаллах кремния методом визуализации рентгено-топографических картин // ФТТ.—1982.—Т. 24, № 6.—1640 с.
7. George A., Champier G. Velocities of screw and 60° Dislocations in n-and p-Type Silicon // Phys. stat. sol. — 1973. — V. 3. — P. 529.

ЕГУ

5. II. 1987

Изв. АН Др. СССР (сер. ТН), т. XLII, № 2, 1989, с. 92—95.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.382.233

М. П. АБЕЛЯН

О МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУННЕЛЬНЫХ ДИОДОВ

Предлагается усовершенствованный вариант аппроксимации вольт-амперных характеристик туннельных диодов с помощью гладких кривых. Дается программа, реализующая предлагаемую аппроксимацию на программируемом микрокалькуляторе БЗ-34.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Առաջարկվում է բունեւային գիտնելիքի վերա-ամպերային բնութագրերի՝ չարթ կորերի միջոցով դժարադաս կատարելագործված սարքերի:

Բերվում է քաղեր, որը երականացնում է առաջարկվող դժարադասի քաղերավորվող БЗ-34 միկրոкалькуляри վրա:

Вопросу аппроксимации вольт-амперных характеристик (ВАХ) туннельных диодов (ТД) посвящено большое количество работ и их детальный анализ приведен в [1]. Широкое распространение получили выражения ВАХ, больше приспособленные для реализации (моделирования) на микрокалькуляторах и микроЭВМ [2, 3], которые имеют вид [4, 5]

$$i(U) = i_m \left| \frac{U}{U_1} e^{1-U/U_1} + \left| \frac{e^{\alpha_2 U} - 1}{e^{\alpha_2 U_1} - 1} \right| \right|, \quad (1)$$

где i , U и i_m , U_1 — соответственно текущее и пиковое значения тока и напряжения, U_3 — напряжение раствора ТД (рис. 1 в [2]), а α_2 определяется по приводимой в [2] формуле в зависимости от параметров ТД.

Эта аппроксимация обладает недостатком, для пояснения которого обратимся к ВАХ ТД (рис. 1), которая разбита на три участка. На участках 1, 2 преобладает туннельная составляющая тока, аппроксимируемая первым слагаемым выражения (1)—кривая I. Диффузионная составляющая, аппроксимируемая вторым слагаемым (кривая II), пренебрежимо мала. На участке 3 должна быть обратная картина. Однако первое слагаемое на участке 2 дает завышенные значения тока [5] и в результате для ТД, отличающихся большими значениями $K = im/i_0$, какими являются большинство туннельных переключающих диодов (ТПД), либо получаются весьма большие, физически необъяснимые значения α_2 (для участка 3 α_2 должна быть порядка $1/m\varphi$ [3]), либо аппроксимация не реализуется—в выражении для α_2 под знаком i_n получается отрицательное число.

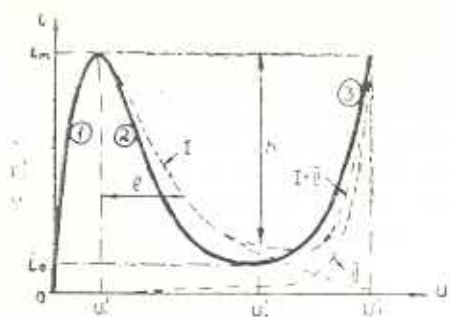


Рис. 1. К пояснению недостатка аппроксимации ВАХ ТД по выражению (1).

Для устранения этого существенного недостатка ниже предлагается аппроксимирующее выражение и программа для моделирования ВАХ ТД на программируемом микрокалькуляторе БЗ-34.

Предлагаемое выражение удобнее привести в относительных (нормированных) единицах: $\bar{i} = i/i_m$, $\bar{U} = U/U_1$ и тогда

$$\bar{i} = (1 + \Delta) \left\{ [1 - a(1 - \bar{U})] e^{-a(1 - \bar{U})} + \frac{e^{a_0 \bar{U}_1 \bar{U}} - 1}{e^{a_0 \bar{U}_1}} \right\} - \Delta, \quad (2)$$

причем при $0 \leq \bar{U} < 1$ $a = 1$ и $\Delta = 0$, а при $\bar{U} > 1$ $a = a_0$ и $\Delta = \Delta_0$.

Как видно, на участке 1 ВАХ выражение (2) совпадает с (1). Для моделирования участков 2 и 3 вводятся постоянные a_0 и Δ_0 , с помощью которых удается устранить недостатки аппроксимации (1). Постоянная a_0 приводит к «сжатию» части абсцисс точек, отмеченных на рис. 1 буквой l , в a_0 раз, а Δ_0 —изменению «глубины» кривой за счет удлинения (укорочения) отрезков, отмеченных на рис. 1 буквой h , в $(1 + \Delta_0)$ раз. Причем сохраняется «сопряжение» кривых 2 и 1 (непрерывность функции и ее производной) в точке U_2 , i_m . Эти приемы позволяют реализовать аппроксимацию при любых значениях K .

Ниже приводится программа (табл.), реализующая аппроксимацию ВАХ ТД по выражению (2) на программируемом микрокалькуляторе БЗ-34. Запись программы и инструкция ее работы соответствуют методике [2]:

По	1	ИПО	-	$x \geq 0$	37	П5	0	П6	○
e^x	1	ИП5	-	x	ИПО	ИП1	x	e^x	1
-	ИП2	e^x	-	+	1	ИП6	+	x	ИП6
-	с/п	ИПО	ИП	+	ВП	00	ИП3	x	П5
ИП4	ВП	08							

$$\alpha_2 U_1 = P1; \quad \alpha_2 U_3 = P2; \quad a_0 = P3; \quad \Delta_0 = P4;$$

$$\Delta \bar{U} = Pd; \quad \bar{U}_1 = PX; \quad В/О \text{ с/п } PX = \bar{i}(\bar{U}_1); \quad \text{с/п } PX = \bar{i}(\bar{U}_1 + \Delta \bar{U});$$

$$\text{с/п } PX = \bar{i}(\bar{U}_1 + 2\Delta \bar{U}); \quad \text{с/п } PX = \bar{i}(\bar{U}_1 + 3\Delta \bar{U}), \dots$$

Программа позволяет вычислить любое значение i нажатием клавиш В/О, с/п и последовательно вычислить значения i с шагом U , равным ΔU , каждый раз нажимая только клавишу с/п. При $a_0 = 1,5$ участок 2 аппроксимированной ВАХ хорошо совпадает с реальной ВАХ ТПД, в качестве которых в настоящее время применяются исключительно арсенид-галлиевые ТД (типов ЗИ306, ЗИ309 и др.). Постоянная α_2 , как показали проверки, может определяться, как и в [2], из условия прохождения кривой через точку U'_2, i_0 , что дает

$$\alpha_2 = \ln \left(\bar{i}_0 - [1 - a_0(1 - \bar{i}'_2)] e^{\alpha_0(1 - \bar{U}_2)} \right) / (\bar{U}_2 - \bar{U}'_2), \quad (3)$$

где $\bar{i}_0 = i_0/i_m = 1/k$.

Несмотря на то, что при выводе (3) не использовалось условие минимума функции $i(U)$ в точке U'_2 , но т. к. минимум не острый, совпадение с реальной ВАХ получается вполне удовлетворительное. Благодаря введению коэффициента a_0 , для подавляющего большинства ТПД получаются вполне приемлемые значения α_2 и прибегать к помощи постоянной Δ_0 не приходится ($\Delta_0 = 0$). Если все же попадаетея экземпляр ТД, для которого получается физически не объяснимая большая α_2 или под знаком \ln получается отрицательное число, то необходимо: 1) принять приемлемое значение α_2 , скажем 20; 2) выбрать для начала $\Delta_0 = 0$ и с помощью программы (табл.) определить расчетные значения $\bar{i}_{op}, \bar{U}'_{2p}$. Если \bar{U}'_{2p} недопустимо отличается от \bar{U}'_2 ТД, то приближения можно достичь, принимая иное значение α_2 и повторяя расчеты; 3) определить окончательное значение Δ_0 , растягивающее или сжимающее участки 2, 3 расчетной ВАХ таким образом, чтобы величина \bar{i}_{op} совпала с \bar{i}_0 экземпляра ТД. Это достигается, когда

$$\Delta_0 = \frac{1}{1 - i_{op}} \left(\bar{i}_{op} - \frac{1}{k} \right). \quad (4)$$

Аналогичным образом можно поступить, когда значение U'_2 неизвестно, т. к. в большинстве для ТПД оно не нормируется.

Приведем (рис. 2) реальную характеристику ТПД ЗИ306 с $U_1 = 0,15 В$, $U_3 = 1,0 В$, $K = 8$. Учитывая, что U_2 не нормируется, принимает $\alpha_2 = 10$, $\Delta_0 = 0$. С помощью программы получаем: $\bar{U}_2 \approx 4,3$, или $U_2 = 0,65 В$, $\bar{I}_{op} = 0,07$ и по формуле (4) определяем: $\Delta_0 = 0,06$.

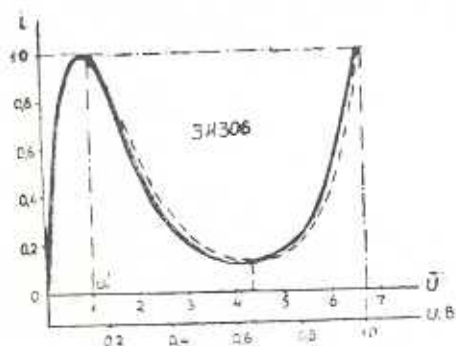


Рис. 2. ВАХ ТПД ЗИ306 и ее аппроксимация по выражению (2).

Аппроксимированная ВАХ приведена на рис. 2 пунктирными линиями. Как видно, совпадение с реальной ВАХ хорошее.

Предлагаемая аппроксимация ВАХ ТД устраняет недостаток известной аппроксимации, заключающийся в ее нереализуемости для большого количества практических случаев ВАХ ТД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паиковский Г. Ю., Прицкер В. И. Туннельные диоды в схемах измерительной техники.—М.: Изд-во стандартов, 1969.—208 с.
2. Трохименко Я. К., Любич Ф. Д. Радиотехнические расчеты на микрокалькуляторах.—М.: Радио и связь, 1983.—256 с.
3. Дьяконов В. П. Расчет нелинейных и импульсных устройств на программируемых микрокалькуляторах.—М.: Радио и связь, 1984.—176 с.
4. Mitchell F. H., Jr. Deriving the Tunnel Diode Curve // Electron. Ind. — Oct. 1961. — 96, 97. — P. 51 — 54.
5. Чжоу В. Ф. Принципы построения схем на туннельных диодах.—М.: Мир, 1966.—447 с.

12. XII. 1987