

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. Филоженко-Бородич М. М. Теория упругости.—М.: Гостехиздат, 1947.—117 с.
4. Блантаков А. А. и др. Акустические кристаллы.—М.: Наука, 1982.—44 с.
5. Erofeev N. E., Nikitenko V. I., Osvenzku V. B. Effect of Impurities on the Individual Dislocation Mobility in Silicon // Phys. stat. sol. — 1969. — V. 35. — P. 79—89.
6. Аветян К. Т., Бугдасарян 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. Geuser A., Chalmers G. Velocity of Screw and Edge Dislocations in n- and p-Type Silicon // Phys. stat. sol. — 1971. — V. 3. — P. 529.

ЕГУ

5. II. 1987

Изв. АН АрмССР (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.

Из 2 табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Առաջադիմում է թուելույին գրողների գիտատվական քննադրերի՝ հարթ կարերի միջոցով դառնալու կոտարելագործված տարրերով:

Բերվում է երեքը, որը իրականացնում է առաջարկվող դաշնագրերը մրադրավորվող БЗ-34 միկրոշարժիչի 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]

$$I(U) = I_m \left[\frac{U}{U_1} e^{1-U/U_1} + \left| \frac{e^{a_2 U} - 1}{e^{a_2 U_1}} \right| \right], \quad (1)$$

где I , U и I_m , U_1 — соответственно текущее и пиковое значения тока и напряжения, U_2 — напряжение раствора ТД (рис. 1 и [2]), а a_2 определяется по приводимой в [2] формуле и 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 $K = Im/\epsilon_0$, какими являются большинство туннельных переключающих диодов (ТПД), либо получаются весьма большие, физически необъяснимые значения α_2 (для участка 3 α_2 должна быть порядка $1/m\epsilon_0$ [3]), либо аппроксимация не реализуется — в выражении для α_2 под знаком ϵ_0 получается отрицательное число.

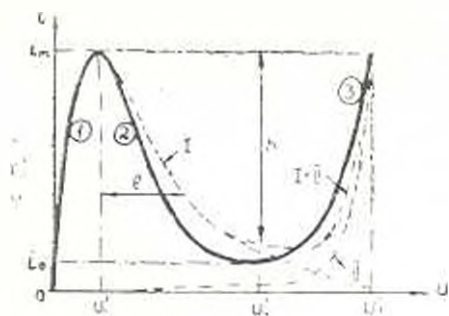


Рис. 1. К пояснению недостатка для аппроксимации ВАХ ТД по выражению (1)

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 нормированных (нормированных) единицах: $i = I/I_m$, $U = U/U_1$, и тогда

$$i = (1 + \Delta) \left\{ [1 - a_1(1 - U)] e^{a_2(1-U)} + \frac{e^{a_2 U} - 1}{e^{a_2 U_1}} \right\} - \Delta, \quad (2)$$

причем при $0 \leq U \leq 1$ $a = 1$ и $\Delta = 0$, а при $U > 1$ $a = a_0$ 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. При этом сохраняется «сопряжение» кривых 2 и 1 (непрерывность функции и ее производной) в точке U_1 . 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].

Таблица

по	1	ИПО	—	$x \geq 0$	37	П5	0	П6	0
e^x	1	ИПЗ	—	X	ИПО	ИП1	X	e^x	1
—	ИП2	e^x	—	+	1	ИП6	+	X	ИП6
—	с п	ИПО	ИП	г	ВП	00	ИП3	X	П5
ИП4	ВП	08							

$$a_2 U_1 = P1; \quad a_2 U_2 = P2; \quad a_6 = P3; \quad \Delta_0 = P4;$$

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

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

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 a_2 , как показали проверки, может определяться, как и в [2], из условия прохождений кривой через точку U_2^* , что дает

$$a_2 = \ln \left\{ \bar{i}_0 - [1 - a_0(1 - \bar{i}_0^*)] e^{a_0(1 - \bar{U}_2^*)} \right\} / (\bar{U}_2 - \bar{U}_3), \quad (3)$$

где $\bar{i}_0 = i_0/i_n = 1/k$.

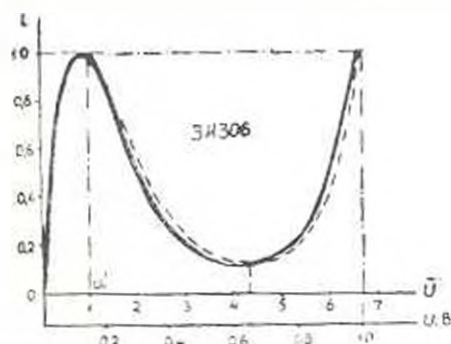
Несмотря на то, что при выводе (3) не использовалось условие минимума функции $\bar{i}(U)$ в точке U_2^* , но т. к. минимум не острый, совпадение с реальной ВАХ получается вполне удовлетворительное. Благодаря введению коэффициента a_0 , для подавляющего большинства ТПД получаются вполне приемлемые значения a_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 a_2 или под знаком $\ln$ получается отрицательное число, то необходимо: 1) принять приемлемое значение a_2 , скажем 20; 2) выбрать для начала $\Delta_0 = 0$ и с помощью программы (табл.) определить расчетные значения $\bar{i}_{op}$, $\bar{U}_{1p}$. Если $\bar{U}_{2p}$ недопустимо отличается от $\bar{U}_2^*$ ТД, то приближения можно достичь, принимая иное значение a_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

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

Аналогичным образом можно поступить, когда значение U_2^* неизвестно, т. к. в большинстве для ТПД оно не нормируется.

Приведем (рис. 2) реальную характеристику ТПД 3И306 с $U_1 = 0,15 \text{ В}$, $U_2 = 1,0 \text{ В}$, $K = 8$. Учитывая, что U_2 не нормируется, принимает $\alpha_2 = 10$, $\Delta_0 = 0$. С помощью программы получаем: $\bar{U}_2 \approx 4,3$ или $U_2 = 0,65 \text{ В}$, $\bar{I}_{0,р} = 0,07$ и по формуле (4) определяем: $\Delta_0 = 0,06$.

Рис. 2. ВАХ ТПД 3И306 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. Пашковский 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