

где $\tilde{\varphi} = \frac{\varphi}{-\varphi_1}$ - безразмерный потенциал;
 $\alpha = \sqrt{-\frac{2e}{m} \varphi_1}$ - скорость частицы после участка 0-1.

Результаты моделирования анализатора частиц при $\Delta x = 1 \text{ мм}$, $n/\Delta x = 1$; $V_0 = V_t = 200 \text{ В}$; $d = 5 \text{ см}$; $l = 0.5 \text{ см}$; $D = 25 \text{ см}$; $\tau = 3 \text{ мкс}$; $N = 500$ показаны на рис. 3. (зависимости разрешающей способности от базовой массы).

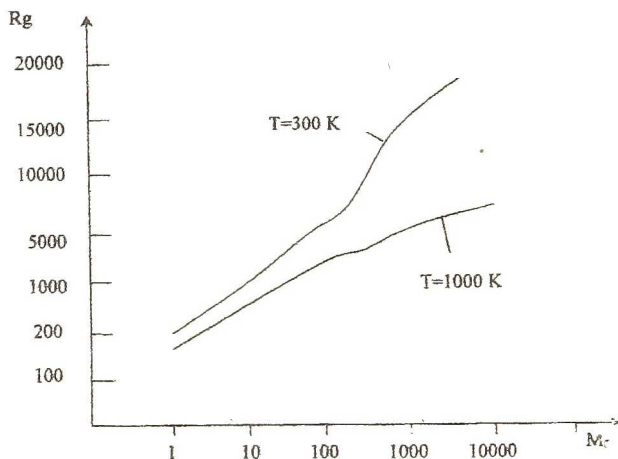


Рис. 3. Зависимость разрешающей способности от базовой массы.

КОНТРОЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ПО М- ПАРАМЕТРУ

Кариин А.Н., Пиганов М.Н., Бабин С.А.

Эффективным средством повышения качества и надежности радиоэлектронной аппаратуры является отбраковка потенциально ненадежных электрорадиоизделий по результатам диагностического неразрушающего контроля [1,2]. В качестве информативного параметра при контроле диодов может быть использован m - параметр вольтамперной характеристики. Вольтамперная характеристика "идеального" диода описывается уравнением Шокли:

$$J = J_0 \left(\exp\left[\frac{U}{\varphi_T}\right] - 1 \right) \quad (1)$$

где J_0 - обратный ток насыщения;
 U - напряжение на р-п переходе;
 φ_T - тепловой потенциал.

Если построить ВАХ, используя выражение (1), в полулогарифмическом масштабе, то получим прямую линию с коэффициентом наклона, равным 1. Однако реальные характеристики диодов могут быть представлены аппроксимирующими линиями с участками, имеющими различные коэффициенты наклона (рис. 1).

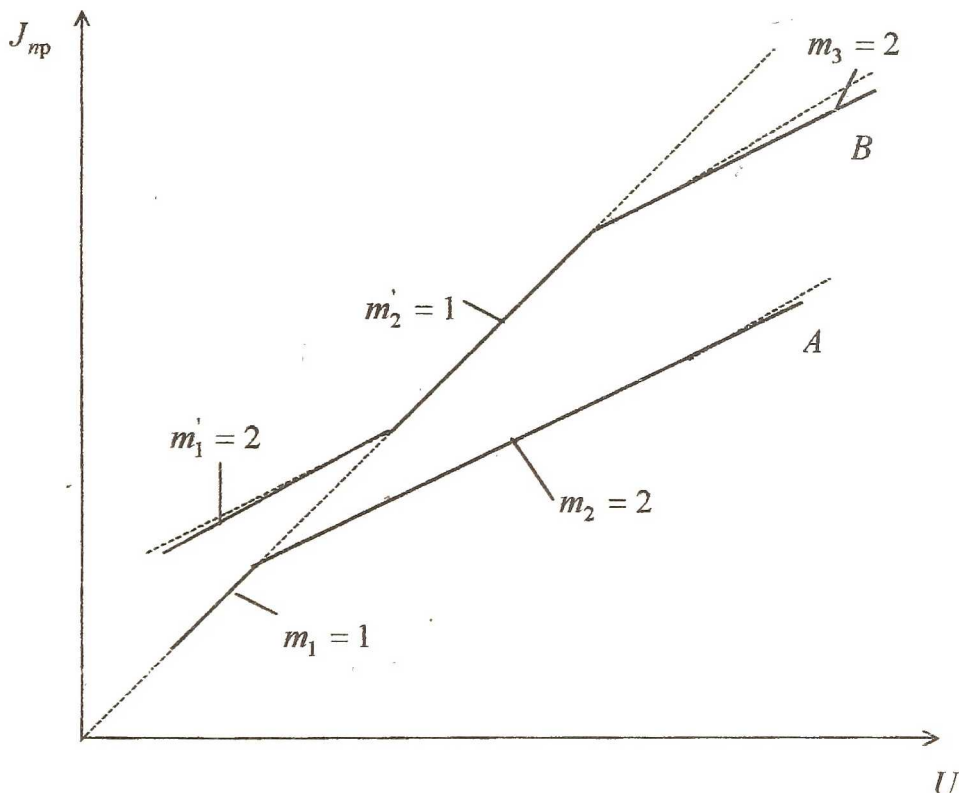


Рис. 1

На начальном участке необходимо учитывать две составляющие прямого тока через р-п переход: генерационно-рекомбинационную и диффузионную. Генерационно-рекомбинационная составляющая определяется выражением

$$J_r \approx A \exp(U / \varphi_T) \quad (2)$$

Эта зависимость в полулогарифмическом масштабе представляет собой прямую линию с коэффициентом наклона 1/2. У германиевых приборов на начальном участке диффузионная составляющая существенно превышает генерационно-рекомбинационную, поэтому характеристика имеет коэффициент наклона 1. У кремниевых приборов, наоборот, поэтому коэффициент наклона равен 1/2. С ростом напряжения на р-п переходе у кремниевых приборов преимущественную роль начинают играть диффузионные составляющие и наклон характеристики становится равным 1.

При дальнейшем росте напряжения в его распределении существенную роль начинает играть объемное сопротивление базовой области и выражение для вольтамперной характеристики принимает следующий вид:

$$J_{np} = J_0 (\exp(U - J \cdot r_6) / \varphi_T), \quad (3)$$

где r_6 - активное сопротивление базовой области. На характеристике появляется, так называемый, омический участок и наклон ее как у германиевых, так и у кремниевых приборов изменяется до 1/2 и больше. В общем, виде уравнение характеристики имеет следующий вид:

$$J_{np} = J \exp[U / m \cdot \varphi_T], \quad (4)$$

где m - коэффициент наклона характеристики в полулогарифмическом масштабе, или, как принято ее называть, m - характеристика.

Величина коэффициента m зависит от совершенства структуры р-п перехода, базовой области и омических контактов. По степени отклонения значения коэффициента m от теоретического для различных диапазонов можно судить о качестве прибора. На этом принципе основан метод контроля приборов по m - характеристикам.

Согласно этому методу ток контролируется в 17 дискретных точках в следующих поддиапазонах (рис.2):

I (малые токи): $10^{-10} \div 10^{-7}$ А,

II (средние токи): $3 \cdot 10^{-7} \div 10^{-4}$ А,

III (большие токи): $3 \cdot 10^{-4} \div 10^{-2}$ А.

По результатам измерений строятся m - характеристики и сравниваются с идеализированной характеристикой (рис.1), согласно которой у совершенной полупроводниковой кремниевой структуры в поддиапазоне I коэффициент m изменяется в пределах от 2 до 1, в поддиапазоне II практически неизменен и равен 1, а в поддиапазоне III изменяется от 1 до 2 (рис.2).

Характеристики реальных приборов имеют разброс. По отклонению m - характеристики партии приборов от идеализированной можно оценить стабильность технологического процесса и, на основе полученных данных, судить о возможных дефектах в полупроводниковых структурах.

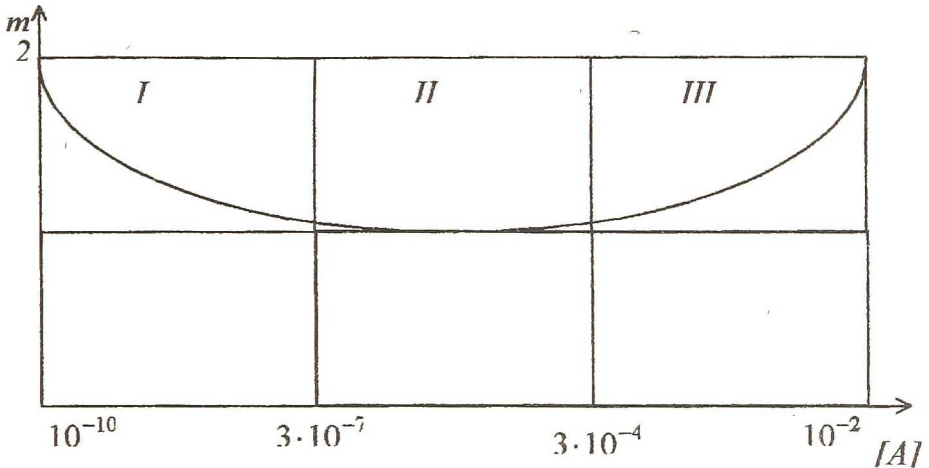


Рис. 2

Экспериментально исследовались диоды 2Д510А. При измерении m -параметров использовалось следующее оборудование:

1. Установка диагностического контроля полупроводниковых диодов по m -характеристике.
2. Цифровой вольтметр В7-38.
3. Осциллограф С1-118.
4. Блок питания Б5-49.

Измерения m -параметра производились косвенным методом путем измерения напряжения $U_{\text{вых}}$ прибора. Данное устройство обеспечивало измерение $U_{\text{вых}}$ с точностью $\pm 5\%$. Осциллограф и вольтметр использовались для наблюдения функциональной зависимости $U_{\text{вых}} = f(m)$. На экране осциллографа наблюдались форма m -характеристики, а с помощью цифрового вольтметра измерялось непосредственное значение m -параметра. Так как вольтметром измерялось пиковое значение напряжения, то значения m -параметра вычислялись по формуле:

$$m = [9,96 + U_{\text{вых}}] / 11, \quad (5)$$

где $U_{\text{вых}}$ - выходное напряжение, измеряемое вольтметром.

Диод считался негодным, если значение m -параметра не укладывалось в интервал [1,2].

Результаты измерений и их математическая обработка для m -параметра при $t=25^\circ\text{C}$ диодов типа 2Д510А приведены в таблице.

Номер образца	Значение параметра	Номер образца	Значение параметра
1	1,224	26	1,190
2	1,224	27	1,201
3	1,224	28	1,202
4	1,230	29	1,214
5	1,221	30	1,228
6	1,226	31	1,225
7	1,222	32	1,226
8	1,214	33	1,234
9	1,242	34	1,228
10	1,236	35	1,215
11	1,236	36	1,219
12	1,239	37	1,227
13	1,235	38	1,214
14	1,232	39	1,255
15	1,234	40	1,259
16	1,235	41	1,263
17	1,286	42	1,259
18	1,221	43	1,245
19	1,220	44	1,225
20	1,222	45	1,224
21	1,203	46	1,229
22	1,230	47	1,240
23	1,220	48	1,237
24	1,210	49	1,230
25	1,224	50	

Было установлено, что вероятность правильных решений при отбраковке диодов 2Д510А по m - параметру составляет 0,78.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пряников О.С. Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов. – М.: Энергия, 1978. – 112 с.
2. Данилин Н.С., Гусев Л.И., Заговорский Ю.И. Обеспечение качества РЭА методами диагностики и прогнозирования. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 224 с.