

тате высокотемпературных процессов пиролиза и тления хлопчатобумажных фитилей. Ширина интервалов изменения Евклидовых расстояний для процессов тления и пиролизом при 600 °С и 700 °С составила 3, 7 и 19 единиц соответственно. Абсолютные величины Евклидовых расстояний принимают наибольшие значения в процессе пиролиза при 700°С, наименьшие для процесса тления. Процент повторения Евклидовых расстояний одной величины в рассматриваемых процессах отражают динамику изменения пропускающей способности задымленной среды.

В условиях «чистой» среды доля Евклидовых расстояний длиной две единицы составила сто процентов, что соответствовало неизменяющемуся потоку прошедшего излучения.

Интервал изменения и абсолютные величины Евклидовых расстояний для всех исследуемых процессов горения больше, чем для условий чистой среды. Что позволяет применять метод Евклидовых расстояний не только в целях обнару-

жения процессов тления и пиролиза хлопковых изделий в помещении, но и разделять процессы тления, низкотемпературного пиролиза от процессов пиролиза при высокой температуре нагревательной поверхности. Характеристические кривые процессов тления и пиролиза при температуре 500 °С оказались схожи

Литература

1. Зуйков И.Е., Антошин А.А., Олефир Г.И., Третьяк И.Б. Установка, моделирующая пожары в начальной стадии развития. Достижения физики неразрушающего контроля и технической диагностики: сб. науч. тр. – Мн.: Институт прикладной физики НАН Беларуси, 2011. – 226с.

2. Антошин, А.А. Измерение интенсивности прошедшего и рассеянного вперед оптического излучения в задымленной среде / А.А. Антошин, А.А. Безлюдов, В.И. Никитин // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф.; редкол.: Е.Ю. Сушкина (ответственный редактор) [и др.]. – М.: ВНИИПО, 2019. – 707 с.

УДК 681.306

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ МДП-ТРИОДНОЙ СТРУКТУРЫ

Глухманчук В.В., Сычик В.А., Уласюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

МДП-триодные структуры широко используются в первичных преобразователях электромагнитных излучений [1, 2]. Такие структуры представляют аналог МДП-транзистора (рисунок 1).

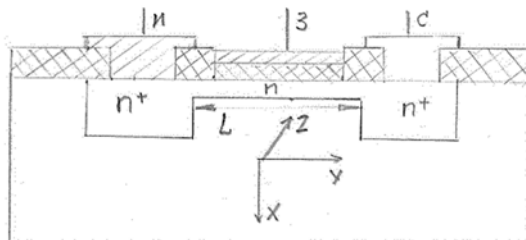


Рисунок 1 – МДП-триодная структура

Истоковая и стоковая области n^+ -типа в МДП-триодной структуре (рисунок 1) отстоят друг от друга на расстояние, равное длине канала L , его направление совпадает с осью Y , а направление в глубину полупроводниковой (Si) подложки принимается за X . Направление ширины канала W соответствует оси Z . Питающее напряжение $U_{си} = V_c - V_n$ соответствует разности потенциалов истока и стока, а управляющий потенциал затвора определяется интенсивностью контролируемого электрического поля E_x . Суммарный заряд под затвором Q_s равен заряду на проводящем электроде затвора с напряженностью E_x , $Q_x = \epsilon\epsilon_0 E_x S$, S – площадь электрода затвора. Выходной ток I_c связан с полным зарядом

в канале Q_s через время пролета t_r уравнением $I_c = Q_s / t_r$. Полный заряд

$$Q_s = Q_n WL = C_{0x} (V_3 - V_T) WL, \quad (1)$$

где Q_n – удельный заряд носителей в канале; V_T – пороговое напряжение.

Удельный заряд затвора при данном значении V_T запишется

$$Q_n = \epsilon\epsilon_{0x} E = \frac{\epsilon\epsilon_{0x}}{d_{0x}} (V_3 - V_T), \quad (2)$$

где ϵ_{0x} , d_{0x} – относительная диэлектрическая проницаемость и толщина диэлектрика затвора; C_{0x} – удельная емкость затвора относительно поверхности полупроводника.

Рассмотрим произвольное сечение канала, в котором плотность тока j_c не зависит от Z , но меняется по оси X из-за убывания концентрации электронов. В пределах элементарной площади ZdX плотность тока принимается постоянной и следовательно

$$dI_c(X) = j_c(X) W dX = en(X) \mu E_y W dX. \quad (3)$$

Учитывая малую толщину канала, пренебрегается зависимость составляющей поля E_y от координаты X вплоть до границы канала с обедненным слоем, т.е. считаем $E_y = \text{const}$. Тогда, интегрируя (4) в пределах от 0 до h , получаем

$$I_c = \mu E_y W \int_0^h en(X) dX = \mu W Q_s E_y. \quad (4)$$

Заменяя E_y на dU_y/dY , получаем

$$I_c = \mu WC_{0x} [(V_3 - U_y) - V_{SF} - \frac{a}{C_{0x}} \sqrt{U_y}] \frac{dU_y}{dY}. \quad (5)$$

Здесь V_{SF} – напряжением плоских зон; $a = (2e\epsilon_0\epsilon_n N_D)^{1/2}$; ϵ_n – относительная диэлектрическая проницаемость полупроводника; N_D – концентрация донорной примеси.

Умножив обе части уравнения (5) на dY и интегрируя левую часть в пределах от 0 до L , а правую – от V_{SF} до U_c , находим искомую вольт-амперную характеристику МДП-структуры.

$$I_c = B[(U_3 - V_{T0} - V_{SF})U_c - \frac{1}{2}U_c^2 - \frac{2}{3}\frac{a}{C_{0x}}(V_{SF} + U_c)^{3/2} - V_{SF}^{3/2}]. \quad (6)$$

Параметр B , называемый удельной крутизной, имеет значение

$$B = \frac{\mu WC_{0x}}{L} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{ox} \mu W}{L d_{ox}}.$$

Заменяв в (6) $V_{T0} - V_{SF}$ на полное пороговое напряжение V_T , а членами с коэффициентами a/C_{0x} обычно пренебрегают, окончательно получаем

$$I_c = B[(V_3 - V_T)U_c - 1/2U_c^2], \quad (7)$$

которая достоверна для напряжений $U_c < U_{c.n.}$

Напряжение насыщения находится из (7), полагая $dI_c/dU_c = 0$:

$$U_{c.n.} = V_3 - V_T. \quad (8)$$

Величина тока $I_c(U_{c.n.})$ сохраняется при всех значениях $U_c > U_{c.n.}$. Поэтому, подставляя (8) в (7), получаем вольт-амперную характеристику МДП-структуры в режиме насыщения:

$$I_c = \frac{1}{2} B (V_3 - V_T)^2. \quad (9)$$

Если используется МДП-структура со встроенным каналом, то принимается

$$\begin{aligned} V_T &= 0, \\ I_c &\cong \frac{1}{2} B V_3^2. \end{aligned} \quad (10)$$

В (10) потенциал затвора V_3 связан с воздействующим на электрод затвора полем E_x соотношением

$$V_3 = \frac{Q}{C_{ox}} = \frac{4\pi\epsilon_0 E_x S}{C_{ox}} = B E_x.$$

Крутизна МДП-структуры в режиме насыщения $S = B(V_3 - U_o)$, т.е. линейно зависит от эффективного напряжения на затворе, причем она однозначно связана с током

$$S = (2 B I_c)^{1/2}. \quad (11)$$

Семейство выходных характеристик $I_c = f(U_{c.n.})/V_s = const$ для МДП-триодной структуры со встроенным каналом представлено на рисунке 1б, причем зависимость $I_c = f(U_{cu})/V_3 = 0$ на отрезке ОА описывается выражением (6), а на отрезке АВ ВАХ эта зависимость соответствует выражению (9).

Переходная (сток-затворная) характеристика МДП-триодной структуры $I_c = f(V_3)/U_{cu} = const$ при $U_c > U_{c.n.}$ приведена на рисунке 1, отрезок $(-2B, +2)$ ВАХ удовлетворительно описывается зависимостью (10).

Анализ выражений (9)–(11) показывает, что контроль напряженности внешних электрических полей E_x посредством МДП-приборной структуры с изолированным затвором, которая служит приемником E_x , является эффективным и позволяет с высокой точностью оценить величину E_x в широком диапазоне ее значений при условии $U_c \geq U_{c.n.}$

Таким образом, МДП-приборная триодная структура с изолированным затвором и встроенным каналом может быть использована в качестве первичного измерительного преобразователя внешних электрических полей и является оптимальной структурой чувствительного элемента преобразователя.

Литература

1. Сычик В.А. Измерительные преобразователи излучений на основе полупроводниковых структур. – Мн.: Выш. школа, 1991. – 179 с.
2. Лейтман М.Б. Нормирующие измерительные преобразователи электрических сигналов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.