

УДК 621.383.8

Е.Н. Козырев, И.Н. Гончаров, Р.О. Аскеров, И.Е. Желоков
КОМПЬЮТЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ
ПРОЦЕССОВ В КАНАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОННОМ
УМНОЖИТЕЛЕ НА ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ

Рассмотрены особенности и результаты компьютерного моделирования процессов усиления вторично-эмиссионных каналов в пористых структурах оксида алюминия. Диаметр каналов в структуре не более одного микрометра.

Ключевые слова: вторичная электронная эмиссия, электронные умножители, оксид алюминия.

Вторично-эмиссионные (ВЭ) многоканальные умножители находят широкое применение в электронно-оптических преобразователях (ЭОП) 2-го, 2+ и 3-го поколений, используемых в технике ночного видения. В данных изделиях в качестве ВЭ усилителей сигнала используются свинцовосиликатные микроканальные пластины (МКП). МКП имеют очень сложную технологию производства и отличаются высокой себестоимостью.

В последнее время в качестве альтернативы МКП рассматривают возможность изготовления многоканальных электронных усилителей на пористых структурах оксида алюминия, выращенных посредством электролитического анодирования. Они дешевы в получении, эффективны как ВЭ мишени, однако их вторично-эмиссионные, электрические и геометрические характеристики, а соответственно и возможность их использования в качестве усилителей пространственно-распределенных электронных потоков нуждаются в дополнительном исследовании. Актуальна проблема компьютерного моделирования ВЭ процессов в канальном умножителе на основе пористой структуры Al_2O_3 для оценки её эффективности.

Известно выражение, характеризующее коэффициент вторичной электронной эмиссии (КВЭЭ) мишени [1]:

$$\sigma = \int P \cdot 0,5f(x)n(x)dx = 0,5 \cdot P \cdot E_1 \cdot (L/\Delta E_3 \cdot R) \cdot [-\exp(-R/L)],$$

где P – вероятность преодоления поверхностного барьера; $n(x)$ – плотность выхода вторичных электронов с глубины x эмиттера; E_1 – энергия воздействия на эмиттер первичного электрона, эВ; ΔE_3 – ширина запрещенной зоны материала эмиттера, эВ; L – максимальная глубина выхода вторичных электронов, м; R – глубина проникновения первичного электрона в эмиттер, м.

Видно, что σ – сложная функция, зависящая от многих объемных (ΔE_3 , R , L) и поверхностных (P) характеристик эмиттера, а также от энергии первичных электронов E_1 , определяемой воздействующими на них ускоряющими напряжениями U_1 :

$$E_1 = eU_1.$$

Основываясь на экспериментальных результатах по тематике вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ), можно сказать, что в качестве оценки энергии первичных электронов Δe , необходи-

мой для генерации вторичных, целесообразно взять ширину запрещенной зоны материала эмиттера ΔE_3 . При моделировании процессов ВЭЭ в канальном умножителе в рамках данной работы использовались некоторые понятия, основанные как на теоретических, так и эмпирических сведениях. В частности установлено, что в довольно широкой области ускоряющих напряжений примерно до 100В, что соответствует условиям в канале, удобной аппроксимацией характеристики $\sigma(U_1)$ является выражение:

$$\sigma = \beta * \sqrt{U_1}, \quad (1)$$

где β – первый параметр вторично-эмиссионной эффективности.

Величину β можно определить, зная значение первого критического потенциала эмиттера U_{k1} . Для Al_2O_3 $U_{k1} \approx 14В$, тогда согласно (1) $\beta = 0,27$.

При моделировании процессов эмиссии вторичных электронов используется величина γ , которая называется вторым параметром вторично-эмиссионной эффективности. Она отражает взаимосвязь между величинами, определяющими энергетику первичного электрона U_1 и вылетающего с мишени вторичного U_0 , и рассчитывается следующим образом:

$$\gamma = U_0 / U_1 \approx (\delta - \chi) / U_{k1} \approx (1,5 - 0,55) / 14 \approx 0,067,$$

где δ – энергия возбужденного электрона относительно дна зоны проводимости. Данная величина зависит от первого критического потенциала эмиттера, для Al_2O_3 $\delta \approx 1,5эВ$; χ – электронное сродство оксида алюминия $\approx 0,55эВ$.

Итак, полученные значения первого и второго параметров вторично-эмиссионной эффективности составили $\beta = 0,27$; $\gamma = 0,05$. Они были использованы при моделировании пове-

дения первичных и вторичных электронов в ходе компьютерного исследования ВЭЭ эффективности каналов в структуре анодированного Al_2O_3 .

С помощью ЭВМ рассчитывалось влияние величины калибра α канала диаметром 1 мкм на его усилительную способность M при различных ускоряющих напряжениях, прилагаемых к каналу.

При этом приняты следующие условия:

1) диапазон изменения калибра канала α (напомним, что калибр канала равен отношению его длины к диаметру) лежит в интервале от 1 до 40;

2) граничные условия распределения электрического поля в канале в областях его перехода в распределение полей межэлектродных промежутков изделия применения не учитываются;

3) контактные электроды с запылением металла в глубь каналов не рассматриваются;

4) взаимодействие первичного электрона, влетающего в канал, происходит в самом его начале (в пределах 1-3 мкм) без учета возможного реального распределения, которое в действительности должно быть значительно более широким;

5) энергия данного взаимодействия соответствует реальной величине, характерной для техники применения (современных плоских ЭОП 2+ поколения) и равно 500эВ, что приводит к генерации вторичных электронов в соответствии с характерной для материала Al_2O_3 вторично-эмиссионной эффективностью и с учетом Пуассоновского распределения данной величины;

6) зарядовые явления в канале не учитываются.

Основная цель данной работы заключалась в получении зависимостей $M=f(\alpha)$ при разных напряжениях U для ВЭЭ каналов пористой структуры Al_2O_3 . Проведенные предварительные расчеты с использованием разработанной и реализованной в виде программ-

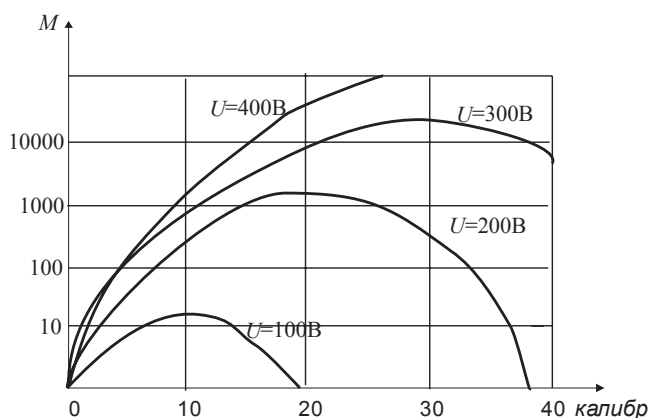


Рис. 1. Расчетные зависимости $M=f(\alpha)$ для одномикронного канала на оксиде алюминия

ного продукта модели поведения электронов в канальном умножителе из оксида алюминия с диаметром канала 1 мкм показали, что изучение режимов усиления целесообразно вести в области изменения $\alpha=10\div 40$; $U=100\div 400$ В.

Выполнение комплекса автоматизированных расчетов позволило построить зависимости, изображенные на рис. 1. Здесь приведены распределения усилительной способности M канала, построенные для наиболее интересных случаев при $\alpha=10\div 40$ и различных напряжениях питания U .

Анализируя полученные зависимости, можно сделать следующие выводы:

1. Оксид алюминия, как материал пригоден для изготовления вторично-электронных канальных умножителей. Наиболее удобной конфигурацией канала с соответствующим режимом работы вероятно следует признать вариант с калибром $\alpha\approx 30$ и напряжением $U\approx 300$ В. Расчеты показывают, что усиление кана-

ла M в данном случае достигает более 10000, что соответствует усилительной способности каналов из свинцово-силикатного стекла.

2. Дальнейшее увеличение напряжения согласно рис. 1 обеспечивает значительный рост величины M , однако очевидно, что в действительности повышение значения U к примеру до 400 В приведет к явному проявлению процессов насыщения усиления в канале.

3. При использовании пористого оксида алюминия в качестве ВЭ усилителя с диаметром канала поры в 1 мкм эффективной длиной канала является величина порядка 30 мкм и подаваемое ускоряющее напряжение по своему значению должно быть близким к 300 В.

4. Экспертная оценка, проведенная в развитие полученных результатов, показывает, что наиболее важной проблемой, которая проявится при физических экспериментах с реальными образцами, станут повышенные шумовые характеристики пористого оксида алюминия, как вторичного усилителя потоков электронов, вследствие малости диаметра каналов и невысокой прозрачности структуры. Поэтому уже на данном этапе предпочтение в исследованиях следует отдавать низковольтным режимам работы каналов ($U \leq 300$ В), что будет способствовать снижению уровня шума электронного усилителя. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Козырев Е.Н. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электронные приборы», e-mail: ekozyrev@skgtu.ru,

Гончаров И.Н. — доктор технических наук, профессор,

Аскеров Р.О. — ассистент, e-mail: asker2005@rambler.ru,

Желоков И.Е. — студент.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).