

УДК 621.531.91

ОПТИМИЗИРОВАННЫЕ СВЕРХТОНКИЕ НАНОПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ МИКРОКАНАЛЬНЫХ СТРУКТУР ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Э.А.Ачеева, В.Н.Гринюк

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
362021 г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, sozaeff@mail.ru

Проведен анализ уже существующих критериев качества напыленных усилительных нанопокрывтий при толщинах $d \leq 10$ нм и энергиях падающих электронов $E_0 \cong 0,6 \div 1,4$ кэВ с учетом введения в рассмотрение нормированной толщины x/\bar{x} . Показано, что сверхтонкие нанопокрывтия толщин менее 10 нм позволяют провести большую оптимизацию в электронно-оптических приборах для устранения некоторых дефектов «электронного изображения» при $d \cong 15 - 20$ нм.

В некоторых электронно-оптических приборах для усиления электронного потока оптического изображения используется тонкое нанопокрывтие на микроканальном входе потока [1,2]. Это создает дополнительную защиту фотокатода прибора от бомбардировки положительными ионами и устраняет обратную оптическую связь со светящимся экраном.

В выполненной ранее работе [3] установлены оптимальные критерии толщины усилительного покрытия за счет введения в описание нормализованной величины его толщины x/\bar{x} . Данный факт был проверен экспериментально на покрытиях Al_2O_3 и Al в диапазоне толщин $d \geq 10$ нм. При этом отмечено ухудшение некоторых характеристик оптического изображения, в частности его разрешающей способности.

Настоящее исследование посвящено выбору оптимального сверхтонкого нанопленочного покрытия в соответствии с критериями, рекомендуемыми в [3], при толщинах покрытий $d \leq 10$ нм и начальных энергиях электронов $E_0 \cong 0,6 \div 1,4$ кэВ, для которых возможен контроль структур и толщин покрытий. Прохождение электронов через нанопленочное покрытие рассмотрено нами с использованием коэффициента прохождения (электронной проницаемости) потока, определяемого как:

$$\eta = \exp\left\{-A(\rho)(x/\lambda E_o^k)^\rho\right\}, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала покрытия; E_0 – начальная энергия электронов; λ, k – некоторые параметры, постоянные для данного материала. При этом,

$$A(\rho) = [1/\rho \Gamma(1/\rho)]^\rho, \quad (2)$$

где $\Gamma(1/\rho)$ – гамма-функция аргумента.

Для установления критерия оптимальной толщины покрытия удобно ввести нормирующий параметр

$$\bar{x} = \int_0^{\infty} x \left(-\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) dx = \lambda E_0^k. \quad (3)$$

Приведенные выше соотношения (1) – (3) позволяют записать нормализованную зависимость электронной проникаемости нанопокрyтия от параметра x/\bar{x} в виде

$$\eta = \exp \left\{ -A(\rho) (x/\bar{x})^\rho \right\}, \quad (4)$$

данная зависимость позволяет найти не только величину $\eta = \eta(x/\bar{x})$, но и любую функцию, зависящую от этого параметра. В работе [3] был найден полный набор параметров выходного потока электронов в нормализованных функциях

$$\eta = (E/E_0, x/\bar{x}) = \int_{E/E_0}^1 f(E/E_0, x/\bar{x}) d(E/E_0), \quad (5)$$

где

$$f(E/E_0, x/\bar{x}) = -\lambda \eta(E/E_0, x/\bar{x}) / \lambda(E/E_0). \quad (6)$$

Экспериментальные данные в работе [3] позволили легко найти зависимость $f(E/E_0, x/\bar{x})$ при $(x/\bar{x}) = 0,3 \pm 1,6$ и относительную среднюю энергию вылетающих из пленки электронов $(E/E_0) = f(x/\bar{x})$. Сравнение функций $\eta(x/\bar{x})$ и $(E/E_0) = f(x/\bar{x})$ показало, что средняя величина энергии этих электронов убывает медленнее, чем ослабляется их поток. Так, если поток ослабляется наполовину, то его средняя энергия $\bar{E} \cong 0,6E_0$. Если же выходящий поток незначителен, т.е. $\eta \cong 5\%$, то $\bar{E} \cong 0,4E_0$. Это свидетельствует не только о потере энергии электронами и пленке, но и о механизме упругого рассеяния их пленкой. Это необходимо учитывать при оптимизации выбора нанопокрyтия:

- а). число выходящих из пленки электронов должна быть максимально большим;
- б). энергия выходящего пучка электронов должна быть ослаблена до максимума сечения процесса в пленочном устройстве $\sigma_\mu(E_0)$.

Условию (б) можно удовлетворить, введя коэффициент уменьшения полной энергии выходящих электронов:

$$\Psi = -\frac{d \cdot (\bar{E}/E_0 \cdot h)}{d(x/\bar{x})} \cdot \eta(x/\bar{x}) = \alpha \eta(x/\bar{x}), \quad (7)$$

где α – величина, характеризующая убыль полной энергии выходящего пучка электронов на единицу нормализованной толщины. Нахождение

функции $\Psi(x/\bar{x})$ позволяет найти оптимизированную толщину пленки δ_{opt} , такой что значение $\delta_{opt} = (x/\bar{x})_{opt} = 0,2 \div 0,5$.

Пучок электронов, выходящих из пленочного покрытия, обычно имеет большую составляющую вторичных электронов, которую нельзя не учитывать при оптимизации толщины x/\bar{x} в критериях, приведенных выше (см. (а), (б)).

Коэффициент выхода вторичных электронов $\eta_{vt}(E_0)$ достигает максимума при $x/\bar{x} \cong 0,7$. При этом $\delta_{vt} = (x/\bar{x}) \cong (0,6 \div 0,8)$.

На величину x/\bar{x} в общем случае может влиять угол рассеяния выходящих из пленки электронов. Это можно учесть, введя в рассмотрение величину угла наиболее вероятного рассеяния \mathcal{G}_o . С увеличением толщины покрытия значение угла наиболее вероятного рассеяния \mathcal{G}_o возрастет, стремясь к постоянному значению ($\cong 45^\circ - 47^\circ$), достигая его при $x/\bar{x} \cong 1,8$. Очевидно, что надо выбирать процесс с величиной x/\bar{x} , при которой достигается $\mathcal{G}_o \cong const$. Однако при $x/\bar{x} > 1,8$ величина $\eta \leq 0,1$, т.е. выход электронов из пленки очень мал. Поэтому уместно выбрать значительно меньший параметр x/\bar{x} , тогда $\delta_{opt} = (x/\bar{x}) \cong 0,55$ с гарантией выхода электронов $\cong 78\%$ от начального значения потока.

Еще одно преимущество нанопокрывтия на входной поверхности канального устройства – барьерность по отношению к ионам газа, которые образуют обратный поток на поверхности фотокатода, что уменьшает время его службы. Рассмотрение механизмов рассеяния электронов на атомном остове пленки показывает, что оксидные пленки весьма малой толщины $x \leq 5$ нм являются хорошим барьером для положительных потоков газов в сторону фотокатода.

Еще один фактор, который необходимо учитывать, это уменьшение выхода электронов из пленки при возникновении в ней объемного заряда, что является очень существенным для диэлектрических пленок. При этом эта величина должна соответствовать минимальному значению $x/\bar{x} \cong 0,4 - 0,5$ и пленки должны иметь наименее выраженный диэлектрический характер. Таким образом, очевидны преимущества металлических пленок или пористых, к примеру, полученных плазменным методом.

Наиболее существенными для качества фотоэлектронного устройства очевидно являются первые два критерия, обеспечивающие максимальное усиление потока выходных электронов. Для сверхтонких покрытий возможно значительное понижение ускоряющего напряжения для входных электронов в связи со значительным понижением величины

E_0 , однако качественная оптимизация параметров приборов требует более точной установки этой величины.

Отмеченные выше особенности, на наш взгляд, объясняют некоторые дефекты «электронного изображения» приборов при ранее использованных усилительных прострельных пленках, имеющих место при их толщине 15 – 20 нм [4].

В заключении отметим, что применением технологии сверхтонких нанопокровов можно значительно улучшить параметры изображения фотоэлектронных приборов с использованием микроканальных элементов при условии тщательной разработки технологии нанесения указанных покрытий на поверхность этих устройств.

Библиографический список

1. *Фитинг, Х.И.* Исследование прохождения, отражения и поглощения электронов средних энергий в тонких пленках твердого поля. - Л.: ЛИТМО, 1972. - 177с.
2. *Жуков, Н.Р.* Исследование и оптимизация конструкций и технологии ФЭП и их элементов / Н.Р. Жуков, Н.А. Диденко, В.Н. Гринюк // Отчет по НИР. – Орджоникидзе: Северо-Осетинский государственный университет, 1988. - 122 с.
3. *Романов, В.Г.* Внедрение технологического процесса нанесения прострельной пленки на МКП методом переноса. / В.Г. Романов // Отчет по НИР. - Л.: ЛИТМО, 1984. - 141 с.
4. *Алкацева, Т.Д.* Закономерности формирования и минимизация дефектов электронного изображения микроканальных пластин: автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.27.01 / Алкацева Татьяна Даниловна. - Владикавказ: СКГМИ, 1999. -27 с.