

УДК 539.23

*В.С. Костко*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ РЕЛЬЕФНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПОЛУПРОВОДНИК – МЕТАЛЛ

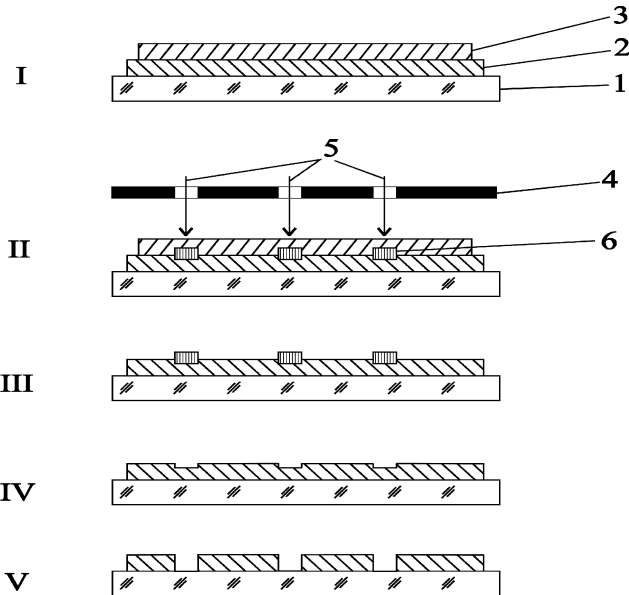
Предлагается способ, который может найти практическое применение в электронной промышленности, вычислительной технике, оплотехнике, литографии, косвенного определения глубины рельефного металлического изображения, образованного в светочувствительной системе полупроводник – металл – диэлектрик, основанный на измерении электрического сопротивления и линейных размеров (длины и ширины) металлического слоя.

Сорок лет назад обнаружен эффект фотографической чувствительности системы полупроводник – металл [1].

При облучении системы полупроводник – металл (поз. I, II рисунок 1) фотоактивным светом 5 через трафарет 4 происходит взаимная диффузия частиц металла и полупроводника [1–6]. Светочувствительная система полупроводник – металл – диэлектрик представляет собой неравновесную систему. Компонентами такой неравновесной системы являются взаимодействующие между собой слои полупроводника, металла и атмосфера. Это взаимодействие, лежащее в основе фотографической чувствительности систем полупроводник – металл – диэлектрик, проявляется во взаимном переносе частиц из металлического и полупроводникового слоев с последующим их химическим взаимодействием. По нашим предположениям, в связи с тем, что приконтактная область полупроводника значительно легирована металлом (это подтверждается проведенными РФС- и оже измерениями), в самом полупроводнике возникают примесные уровни. Возможно, этим объясняется проявление светочувствительности при энергиях падающего излучения, значительно меньших, чем в случае полупроводниковых слоев на диэлектрических подложках. Процесс образования изображения в системе полупроводник – металл – диэлектрик можно разделить на следующие этапы: поглощение света системой и образование носителей заряда; диффузия частиц металла через границу раздела металл – полупроводник, с образованием области легированного полупроводника; диффузия частиц металла и фоторастворение их в слое легированного полупроводника с последующим их взаимодействием с веществом полупроводника; диффузия катионов полупроводника через границу раздела полупроводник – металл и растворение их в слое металла. Подтверждением сказанного являются результаты рентгеноструктурного анализа светочувствительной системы полупроводник ( $\text{SnI}_2$ ) – металл ( $\text{Cd}$ ) – диэлектрик (стекло), подтвердившие взаимное проникновение частиц металла и полупроводника, приводящее к изменению фазового состава [3; 5]. В результате такой взаимной диффузии частиц металла и полупроводника в области облучения системы образуются непроводящие продукты реакции 6 (поз. II рисунок 1).

Тонкие слои полупроводников 3 (поз. I, рисунок 1), таких, как дийодид свинца, дийодид олова, будучи напыленными (термическим вакуумным напылением) на металлические подложки 2, обладают свойством создавать видимое изображение непосредственно в процессе экспозиции, образуя при этом рельефное металлическое изображение (поз. IV, V рисунок 1) [6].

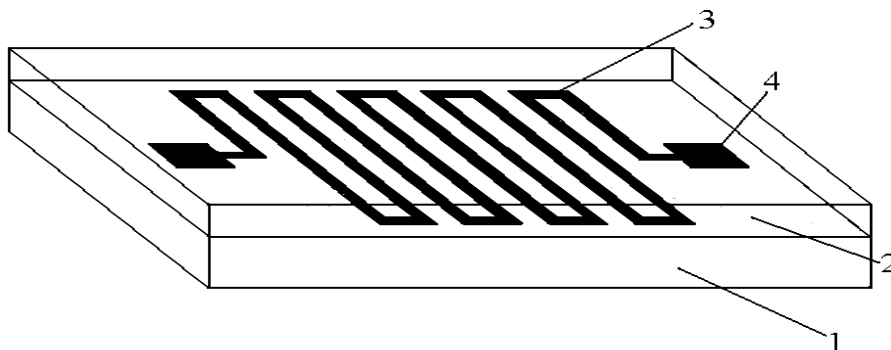
Глубина рельефа металлического слоя, в первую очередь, зависит от энергии падающего излучения и времени облучения, т. е. от экспозиции. Естественно, что для практического использования этого эффекта в электронной промышленности (элементы микросхем, надписи, шкалы, фотошаблоны и т. п.), вычислительной технике (запоминающие устройства), оплотехнике (микрошкалы, указатели и др.), литографии (офсетные формы), глубина образуемого рельефного изображения должна быть контролируемой и прогнозируемой.



**Рисунок 1 – Схема изготовления металлического изображения на диэлектрической поверхности (1 – диэлектрик, 2 – металл, 3 – полупроводник)**

Для определения глубины образовавшегося рельефного изображения предлагается способ, лишенный необходимости измерения толщины металлического слоя механическими или оптическими методами. Кроме того, точность определения глубины образовавшегося рельефного металлического изображения определяется точностью измерения электрического сопротивления, длины и ширины металлического слоя, которые можно выполнить с высокой точностью.

Для уменьшения линейных размеров контрольного изделия и увеличения его сопротивления металлическая полоска наносилась термическим вакуумным испарением через трафарет, имеющий форму «змейки» (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Схема светочувствительной системы полупроводник – металл на диэлектрической подложке**

На рисунке 2 представлена схема светочувствительной системы полупроводник – металл – диэлектрик, имеющей форму «змейки», на диэлектрической подложке. Здесь 1 – стекло (кварц), 2 – полупроводниковый слой, 3 – металлическая «змейка» с токоподводящими контактами 4.

Технология изготовления такой системы следующая. На тщательно очищенную диэлектрическую поверхность (стекло, кварц, лавсан и т. п.), с заранее нанесенными серебряными контактами, в вакууме  $\sim 5 \cdot 10^{-5}$  мм рт.ст. через трафарет, имеющий форму «змейки», с линейными размерами полоски: ширина –  $D = 0,25$  мм, общая длина –  $L=92,5$  мм, напыляется необходимый металл (в нашем случае – серебро, олово, кадмий) толщиной не менее  $2\ 000 \text{ \AA}$ . Выполнение этого условия необходимо для того, чтобы физические характеристики металлической полоски, в частности удельное электрическое сопротивление, соответствовали характеристикам массивного металла. После удаления трафарета поверхность образовавшейся конструкции напылялась полупроводник ( $\text{SnI}_2$ ) толщиной  $500 - 1\ 500 \text{ \AA}$ .

Очевидно, что до облучения системы полупроводник – металл фотоактивным светом электрическое сопротивление металлической полоски 3 (рис.2) определяется выражением

$$R_0 = \rho \frac{L}{DH} , \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление металла,  $L$  – общая длина металлической полоски,  $D$  – ширина,  $H$  – толщина полоски.

При облучении системы полупроводник – металл в области облучения происходит диффузия ионов металла из металлического слоя 3 в слой полупроводника 2. Экспериментально обнаружено, что проводимость чистого и легированного частицами металла полупроводника значительно ниже проводимости оставшегося металлического слоя. Не сложно показать, что сопротивление металлического слоя после облучения системы

$$R_t = \rho \frac{L(H-h)+lh}{DH(H-h)} , \quad (2)$$

где  $h$  – эффективная глубина облучаемого участка;  $H, l$  – толщина металлического слоя и длина облучаемого участка. Эффективная глубина  $h$  – это глубина, на которой образовались непроводящие продукты реакции. Как следует из выражений (1) и (2),

$$h = \frac{H}{1 + \frac{lR_0}{L(R_t - R_0)}} . \quad (3)$$

Величина сопротивления металлической змейки зависит от условий напыления (толщины змейки), рода металла и при комнатных температурах изменяется в пределах от 60 до 300 Ом. Облучение исследуемых систем  $\text{SnI}_2 - \text{Me}$  осуществлялось в центральной части змейки при температуре  $T = 293 \text{ K}$  монохроматическим светом с  $\lambda = 450 \text{ нм}$  через экран с прямоугольным вырезом размером  $20 \times 5 \text{ мм}^2$  таким образом, чтобы световое пятно равномерной освещенности полностью перекрывало змейку по ширине. Измерение сопротивления металлической змейки осуществляется измерением падения напряжения на нем с помощью цифрового вольтметра ВК 2-20 до и после облучения системы фотоактивным светом в течение 5 мин при плотности тока  $0,4 \text{ A/мм}^2$ .

Точность определения  $h$ , как это следует из выражения (3), зависит в основном от точности измерения сопротивлений  $R_0$ ,  $R_t$  и геометрических размеров  $L$ ,  $H$ ,  $l$ . Уменьшить погрешность определения  $h$  можно путем повышения точности измерения сопротивлений  $R_0$  и  $R_t$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костышин, М.Т. Об эффекте фотографической чувствительности тонких полупроводниковых слоев, находящихся на металлических подложках / М.Т. Костышин, Е.В. Михайловская, П.Ф. Романенко // ФТТ. – 1966. – Т. 8, № 4. – С. 571–572.
2. Buroff, A. Migration of silver and gold in amorphous  $As_2S_3$  / A. Buroff [et al.] // Phys. status solidi A. – 1977. – Vol. 40, № 1. – P. 195–198.
3. Костко, В.С. Светочувствительность тонкопленочной структуры  $SnI_2$ - $Sn$ -стекло и фазовый состав структуры  $SnI_2$ - $Cd$ -стекло / В.С. Костко [и др.] // Весці Акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2001. – № 1. – С. 103–106.
4. Goldschmidt, D. The kinetics of photodissolution of Ag in amorphous  $As_2S_3$  films / D. Goldschmidt, P.S. Rudman // J. Non-cryst. Solids. – 1976. – Vol. 22, № 2. – С. 229–243.
5. Костко, В.С. Исследование светочувствительных слоев  $SnI_2$  методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / В.С. Костко [и др.] // Веснік Брэсцк. ун-та. – 1999. – № 2. – С. 41–48.
6. Способ нанесения рельефного изображения на диэлектрическую подложку : пат. 8800 Респ. Беларусь, G 03 C / В.С. Костко, О.В. Костко ; заявитель Брестск. гос. ун-т. – № а 20031065 ; заявл. 19.11.03 ; опубл. 30.06.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 2.

#### **V.S. Kostko. The Determination of Relief Picture Depth in Photosensitive System of Semiconductor-metal**

The method which will help to find practical usage of indirect determination of the depth of relief metal picture, formed in photosensitive system of semiconductor-metal-dielectric, based on the measurement of electric resistance and linear sizes (length and width) of metal layer in electronic industry, computer engineering, optic techniques, lithography.