

°С улучшают люминесцентные свойства, а дальнейшее увеличение температуры ведёт к их ухудшению.

Таким образом, установлено формирование материала, обладающего сложным строением – субмикронной кораллоподобной структурой с инкорпорированными пластинками. Такая структура, особенно в иммобилизованном виде, может быть перспективна для применения в фотокатализе. Люминесцентные свойства лучше всего наблюдаются для образца, полученного при 500 °С. Дальнейшее уточнение оптимальной для люминесцентных свойств температуры получения требует дополнительных исследований.

**Список использованных источников:**

1. Строук, А.Л. Спектрально-люминесцентные свойства продуктов эксфолиации графитоподобного нитрида углерода, полученного при различных температурах / А.Л. Строук, Я.В. Панасюк, А.Е. Раевская, С.Я. Кучмий // Теоретическая и экспериментальная химия. – 2015. – Т.51, № 4. – С. 236–243.
2. Wang, W. Polymeric graphitic carbon nitride as a heterogeneous organocatalyst: from photochemistry to multipurpose catalysis to sustainable chemistry/ Y. Wang, X. Wang, M. Antonetti // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2012. – Т.51, № 1. – С. 68–89.

## **ФОРМИРОВАНИЕ МЕДНОЙ ПЛЁНКИ НА СТЕКЛЯННОЙ ПОДЛОЖКЕ С АДГЕЗИЕЙ КЛАССА 5В МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ**

*Рабатуев Г.Г.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Лазарук С.К. – д-р физ.-мат. наук, профессор*

Проведён поиск методов улучшения адгезии медной плёнки толщиной порядка 3 мкм к стеклу при его осаждении методом магнетронного распыления. Установлено, что адгезия класса 5В может быть достигнута при подборе материала буферного слоя. Не обнаружено влияния на адгезию подаваемой на магнетрон мощности, температуры подложки и степени очистки ионной бомбардировкой.

Плёнки легированных оксидов металлов и полупроводников, в частности легированный оловом оксид индия (indium-tin oxide, ИТО), являются наиболее распространёнными материалами для применения в качестве прозрачных электродов. Высокая стоимость и хрупкость таких покрытий, дефицит индия и требование высокой температуры подложки для осаждения качественной плёнки делают замену этих покрытий на покрытия из легкодоступных металлов актуальной задачей [1-3], и уже в лабораторных условиях получены [2] прозрачные электроды на основе наноструктурированной металлической сетки, которые превосходят по своим характеристикам (коэффициент пропускания 90,6 %, поверхностное сопротивление 6,2 Ом/кв) оксид индия-олова (10 Ом/□ при оптической прозрачности на уровне 85–87% [4]). При этом они обладают такими преимуществами, как пластичность и низкая температура формирования. Это является весьма актуальным преимуществом прозрачных металлических сеток для использования их при создании оптоэлектронных устройств нового поколения, таких как гибкие дисплеи. Медь (Cu) является самым оптимальным материалом для формирования прозрачных электродов со структурой наносетки, но она легко отслаивается от стекла и, особенно, от гибких ПЭТ-подложек. Это до сих пор не позволяет использовать сетчатые электроды из меди в массовом производстве и на больших площадях [2].

Были экспериментально исследованы методы повышения адгезии меди к стеклу. Медная плёнка толщиной 3 мкм осаждалась методом магнетронного распыления на закалённое стекло типа *Soda-lime float glass* с размером 100x50x0,55 мм. В качестве буферного слоя использовались 3 нм слои из следующих материалов: олово (Sn), молибден (Mo), обеднённые кислородом оксид ниобия и ИТО. Также проведены эксперименты с переменными мощностью, давлением аргона в вакуумной камере для компенсации внутренних напряжений структуры медной плёнки, а также с нагревом подложки до 200 °С и с повышением временем очистки подложки ионно-компенсированным пучком.

Для тестирования образцов был использован метод, основанный на нанесении сквозных поперечных надрезов (рисунок 1, а) на покрытие с последующим наклеиванием и отклеиванием клейкой ленты с фиксированной силой адгезии (*cross-cut tape test*). Класс адгезии 5В соответствует полной сохранности покрытия после отклеивания клейкой ленты, и был достигнут только при использовании буферного слоя ИТО (рисунок 1, б) без нагрева и вне зависимости от времени вакуумной очистки. В то же время на остальных образцах медная плёнка легко отслаивалась при отрыве ленты (рисунок 1, в).



Рисунок 1 – Тестирование адгезии медной плёнки к стеклянной подложке

**Список использованных источников:**

1. Li, Y. et al. Preparation of Aluminum Nanomesh Thin Films from an Anodic Aluminum Oxide Template as Transparent Conductive Electrodes. Sci. Rep. 6, 20114; doi: 10.1038/srep20114 (2016).
2. Kim, W.K. et al. Cu Mesh for Flexible Transparent Conductive Electrodes. Sci. Rep. 5, 10715; doi: 10.1038/srep10715 (2015)
3. Bing Han, Ke Pei, Yuanlin Huang, Xiaojian Zhang, Qikun Rong, Qinggeng Lin, Yangfei Guo, Tianyi Sun, Chuanfei Guo, David Carnahan, Michael Giersig, Yang Wang, Jinwei Gao, Zhifeng Ren, Krzysztof Kempa, Uniform Self-Forming Metallic Network as a High-Performance Transparent Conductive Electrode // Adv. Mater. 2014, 26, 873–877
4. П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров, Ю.С. Жидик. Прозрачные электропроводящие покрытия // Доклады ТУСУРа, № 1 (31), 2014

## РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ БИПОЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Стельмахов Р.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Бондаренко В.П. – канд. техн. наук, доцент

Целью работы является исследование основных параметров транзисторов (коэффициента усиления по току, токов утечки и падения напряжения на переходах коллектор-база и эмиттер-база), являющихся элементной базой биполярных интегральных микросхем, в условиях воздействия радиации.

На рисунке 1 представлена структура исследуемых аналоговых биполярных интегральных микросхем. Исследуемая элементная база аналоговых биполярных интегральных микросхем:

- 1) вертикальный n-p-n транзистор;
- 2) горизонтальный p-n-p транзистор;
- 3) вертикальный p-n-p транзистор;
- 4) диффузионный резистор.

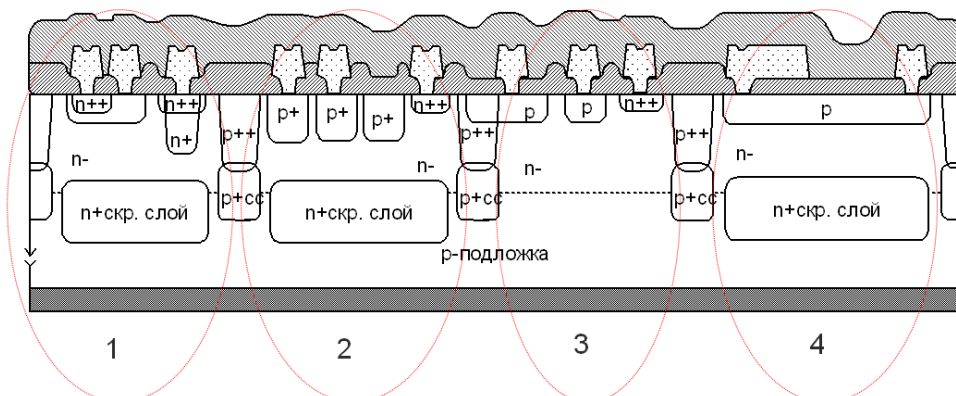


Рисунок 1 – Структура аналоговых биполярных интегральных микросхем.

Облучение тестовых образцов гамма-квантами проводилось при температуре 310 К. Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения составляла 80,8 Р/с, доза –  $10^5$ - $10^7$  Р.