



## Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта победителя I степени

**Название работы – Экспериментальное получение и исследование свойств прозрачных токопроводящих нанопленок ИТО на поверхности стекла.**

**Автор – Лаврентьева Анастасия Анатольевна, 10 класс, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары, г. Чебоксары.**

**Руководитель – Лаврентьев Анатолий Генрихович, учитель информатики и астрономии, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары, г. Чебоксары.**

### **Основная идея работы, цели, задачи**

Самый привычный и распространенный в повседневной жизни материал это, пожалуй, *стекло*. Оно так часто встречается каждому из нас, что мы воспринимаем его как что-то естественное и существовавшее всегда. Главным отличием стекла от других материалов является прозрачность. Это одна из главных параметров при использовании стекла в разных областях. Но при эксплуатации при разных климатических условиях на поверхности стекла появляется конденсат или даже наледь. В автомобильной промышленности для решения проблемы используют обдувание теплым воздухом или наносят токопроводящую сетку.

В литературе много появляется информации о создании прозрачных токопроводящих стекол.

*Целью данной работы* является создание прозрачного токопроводящего покрытия в условиях лаборатории и исследование его характеристик.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие *задачи*:

- Выбор прозрачных проводящих оксидов (работа с литературой);
- Выбор способа нанесения покрытия;
- Знакомство с технологией выбранного способа нанесения (обращение к специалистам);
- Нанесения покрытий и анализ полученных результатов.

### **Актуальность и новизна работы**

В литературе очень много работ на данную тему. Строительная техника нуждается в твердых прозрачных материалах, обладающих высокой электропроводностью. Повысить удельную объемную электропроводность стекла, не изменяя его химического состава, не представляется возможным. Поэтому наиболее приемлемым является способ нанесения на поверхность стекла тонких прозрачных слоев, проводящих электрический ток. Для этого на стекло наносят металлические покрытия или восстанавливают ионы металлов в поверхностном слое стекла. Актуальной для себя считаю получения первых навыков получения прозрачных токопроводящих пленок на основе ИТО для школьников. Начиная с выбора и подготовки подложки и заканчивая с самой технологией напыления. Полученные знания мне в дальнейшей исследовательской работе помогут внести и свой вклад. В данной работе мною конкретно исследуется влияние двухслойной рамы из стекол токопроводящими покрытиями на потери света и тепла при конденсации и обледенении поверхностей.

## Основные результаты

Этапы работы:

### ***Проводимость стекла***

Стекло в твердом состоянии не проводит электрического тока. Многовековая история стеклоделия связана с изготовлением силикатных стекол, основывающихся на системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ . Только во второй половине XX в. было показано, что натрий-кальций-силикатные стекла составляют небольшую часть безграничного мира неорганических стекол. Самый обширный класс стекол – это оксидные стекла. Условно составы стекол выражают в виде суммы оксидов входящих в них элементов. Те оксиды, которые, охлаждаясь из расплава, способны сами по себе, без примеси других элементов, образовывать стекла, называют стеклообразователями. Наиболее легко образуют стекла оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$  [1]. Поверхностная проводимость несколько выше и только изменяется в зависимости от химического состава стекла, температуры и влажности окружающей среды в широких пределах. Строительная техника нуждается в твердых прозрачных материалах, обладающих высокой электропроводностью. Повысить удельную объемную электропроводность стекла, не изменяя его химического состава, не представляется возможным. Поэтому наиболее приемлемым является способ нанесения на поверхность стекла тонких прозрачных слоев, проводящих электрический ток. Для этого на стекло наносят металлические покрытия или восстанавливают ионы металлов в поверхностном слое стекла.

### ***Выбор прозрачных проводящих оксидов***

Прозрачные проводящие оксиды находят широкое применение в электронике. Среди них можно выделить оксид индия, легированного оловом (indiumtinoxideITO), обладающей высокой прозрачностью в видимой части спектра, низким удельным сопротивлением и временной стабильностью этих параметров. У них широкая зона запрещенной зоны ( $>3\text{эВ}$ ) и высокую концентрацию носителей электрических зарядов ( $>10^{19}\text{см}^{-3}$ ) [2]. Для нашего исследования остановились на данном оксиде.

### ***Выбор способа нанесения покрытия***

Анализ литературы показал, что прозрачные проводящие пленки наносят разными способами. Тонкие пленки ITO получают методом спрей-пиролиза [3], золь-гельным методом, лазерной абляцией, магнетронным распылением [4, стр.28-36]. Мы остановились на PVD методе путем испарения в вакууме (магнетронном распылении), методом катодного распыления. Выбор был сделан, так как у нас был магнетронный распылитель, но не было вакуумной установки. После нескольких неудачных попыток мы обратились в лабораторию по нанотехнологиям в ЧГУ им И.Н. Ульянова.

Кроме этого у нас были два готовых образца, сделанные на разных предприятиях:

- 1 образец компании из г. Зеленограда
- 2 образец компании из г. Саратов
- 3 образец собрали сами.

### Выбор технологии нанесения

Заведующий лабораторией предложил для сравнения нам получить покрытие методом катодного распыления. Нанесение ИТО проводили на установке (вакуумный пост) УВР-3М.

### Катодное распыление

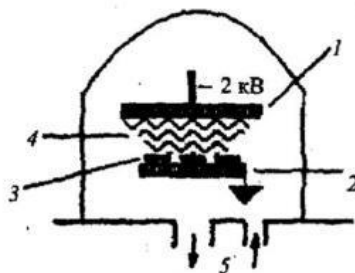


Рис. 2.11. Схема метода катодного распыления:  
 1 – катод; 2 – анод; 3 – подложка; 4 – плазма (Ar<sup>+</sup>);  
 5 – нагнетание и откачка газа

Процесс катодного распыления заключается в разрушении катода при возникновении электрического разряда между электродами при низком давлении под воздействием ударяющихся о него ионизированных атомов и молекул газа. В качестве материала катода использовали ИТО. Распыление проводили на поверхность предметного стекла при давлении в камере установки  $\approx 10$  Па в плазме ионов Ar<sup>+</sup> при напряжении между катодом и анодом 2 кВ (скорость роста пленки ИТО 40 нм/час). Толщина пленки в итоге по времени нанесения получилась 100 нм. В итоге у нас были покрытия, нанесенные магнетронным и катодным напылением.

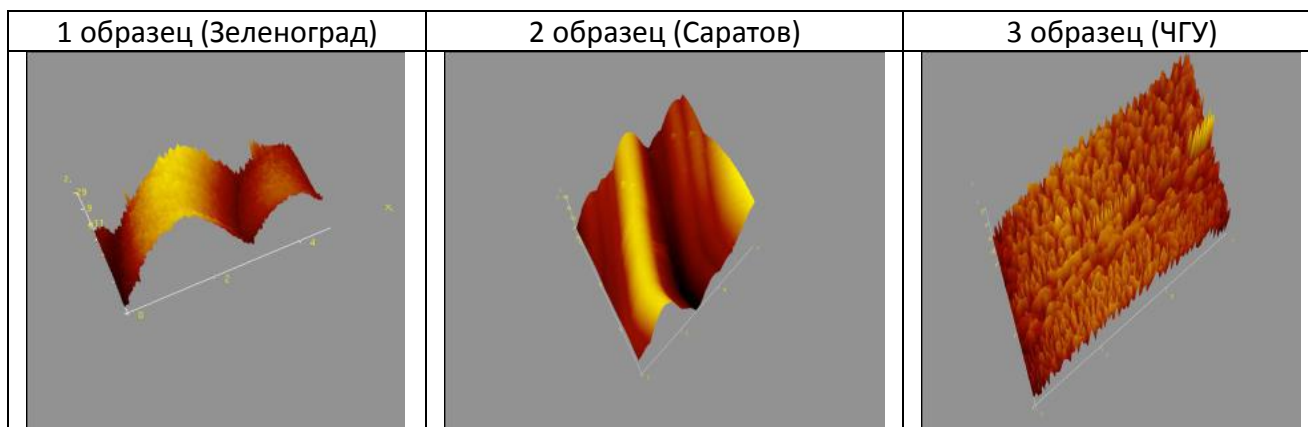
### Исследование морфологии нанесенного покрытия

Морфологию получившихся покрытий исследовали на оптическом и зондовом микроскопах в лаборатории лица.

1 образец (Зеленоград)	2 образец (Саратов)	3 образец (ЧГУ)

Исследование на оптическом микроскопе

Анализ изображений показывает, что при магнетронном напылении покрытие более ровное, есть отдельные крупные участки. При катодном напылении крупных частиц на порядок больше.



Исследование на СЗМ «NanoEducator»

**Вывод:** На первых двух образцах напыление плотное, но волнообразное с периодом 2 мкм. Это может быть связано с технологией напыления. На нашем образце в напылении поры порядка 0,5 мкм.

**Исследование оптических характеристик проводника**

Свет, падая на поверхность стекла:

- часть отражается от поверхностей стекла;
- часть поглощается стеклом;
- часть проходит через стекло.

Первые два фактора уменьшают прозрачность стекла. Интегральный коэффициент светопропускания определили с помощью люксметра «testo 540». Измерения проводили при различном солнечном освещении.

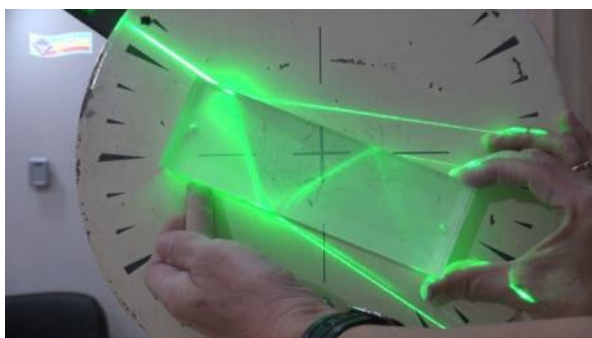


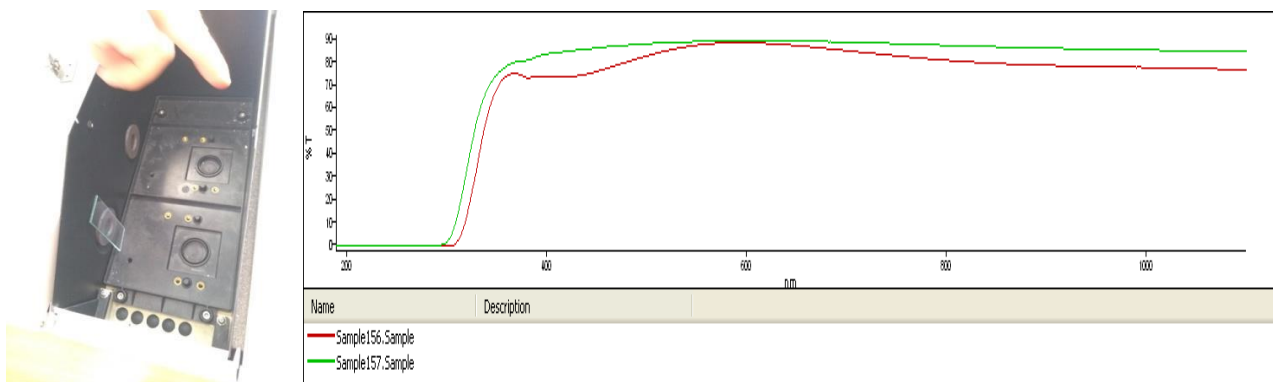
Таблица зависимости светопропускания от освещенности образцов 1 и 2

№	Интенсивность падающего света (люкс)	Интенсивность прошедшего света (люкс)	Интегральный коэффициент светопропускания
1	62	58	0,94
2	700	646	0,92
3	705	647	0,92
4	767	691	0,90
5	823	767	0,93
6	833	755	0,91
Среднее значение			0,92

У нашего образца коэффициент светопропускания получилось 0,8.

2 часть эксперимента со светопропусканием для уточнения наших данных сделали на базе «Лаборатории по нанотехнологиям» в ЧГУ им. И.Н.Ульянова.

Использовали спектрофотометр «Lambda 25» для снятия спектра пропускания.

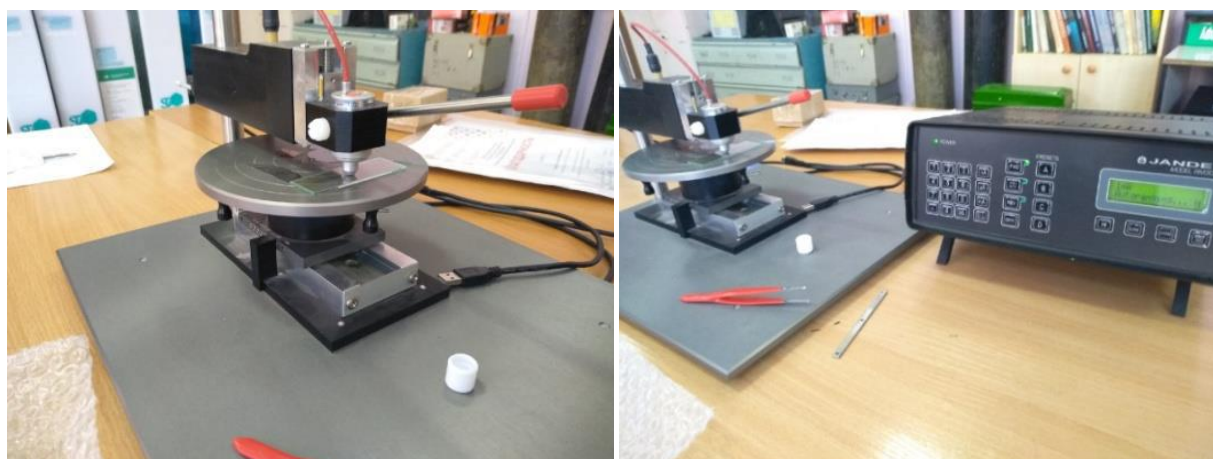


**Вывод:** спектрофотометр более точно раскладывает светопропускание по спектрам. В УФ части пропускание 0%. Максимум 90% приходит на длину волны 600 нм для образца 2 и для образца 1 почти на всем видимом диапазоне. У образца 3 этот коэффициент тоже 80% на длине волны 600нм. В принципе показания обоих экспериментов близки. У нашего образца распределение максимума приходит на определенный спектр.

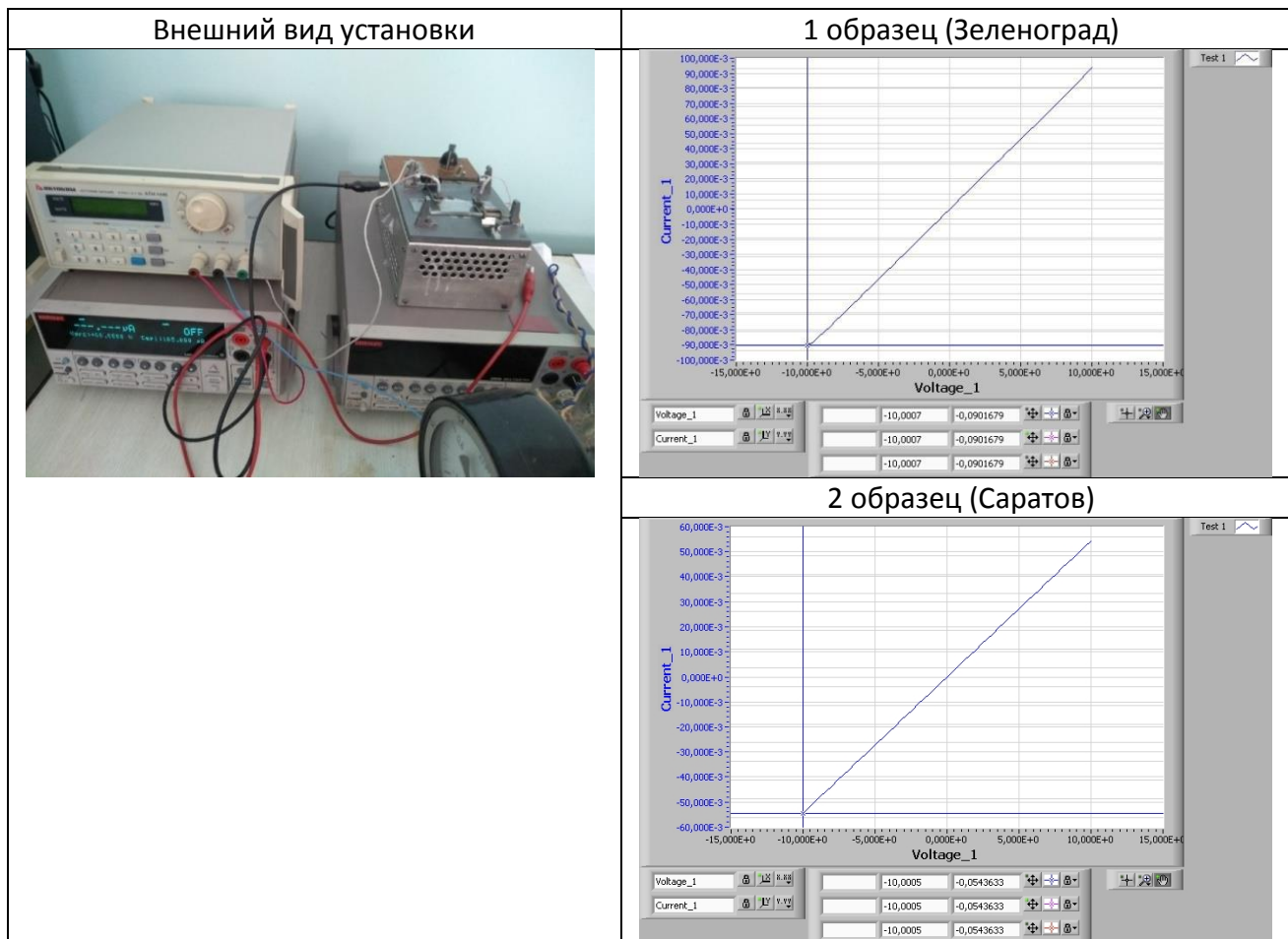
### **Электропроводные характеристики**

Определение поверхностного сопротивления трехзондовым методом с помощью с установки «JandelmodelR.m 3000» [5].

№ образца	Поверхностное сопротивление
1 (Саратов)	15 Ком/квадрат
2 (Зеленоград)	37 Ком/квадрат
3 ЧГУ	200 Ком/квадрат



Снятие Вольт-амперной характеристики с помощью установки Keithley 2400.



**Вывод:** проводимость наших покрытий электронная. Для собственного покрытия ВАХ получить не удалось. Она представляла зигзагообразную кривую. У первого образца проводимость выше.

### Эксперименты по обогреву стекол

Наше стекло можно использовать для обогрева окон от конденсата и обледенения и покрытия объективов телескопов при наблюдениях в холодное время. Создадим на поверхности стекла конденсат.

Рассчитаем за какое время тепло, выделяемое на поверхности стекла идет на удаление конденсата. Конденсат исчезнет, если температура поверхности стекла станет выше *точки росы* при данной влажности воздуха.

Например, если в помещении 20 °С то

Влажность воздуха %	Точка россы °С
45	7,7
80	16,4

$Q$ , выделяемое покрытием, идет на нагревание стекла  $Q_1$  до точки росы.

$Q_1 = C_{ст}m(t_2 - t_1)$ , где  $C$  - удельная теплоемкость стекла = 703 Дж/(кг\*К),  $m$  - масса стекла=10 гр.

$t_2=17^{\circ}\text{C}$  температура точки росы

$t_1$ - начальная температура стекла, зависит от разницы температур воздуха с обеих сторон стекла.

Если начальная температура стекла  $t_1=0^{\circ}\text{C}$ , то время обогрева стекла  $t=C_{ст}m(t_2-t_1)/P$

Мощность определяем через среднюю значение силу тока и напряжение, чтобы покрытие не вывести из строя. Эксперименты с максимальным напряжением пока не провели.

$P=I U C_{ст}=840 \text{ Дж/ кг }^{\circ}\text{C}$

Влажность воздуха %	№ обр.	Мощность тока	Время обогрева 1 образца, сек	Влажность воздуха %
45			теоретически	экспериментально
	1	1 Вт	142	300
	2	0,5 Вт	284	500
	3	0,07	1846	35000

*Вывод:* наше покрытие (3 образец) пока сильно уступает по своим параметрам.

### Выводы, заключение, перспективы

- В ходе данной работы познакомились теоретическими основами нанесения токопроводящих прозрачных пленок (магнетронное и катодное напыление);
- В лабораторных условиях удалось получить покрытие ИТО катодным напылением;
- Анализ морфологии показал, что образцы, полученные в научных лабораториях, обладают более ровным покрытием, отсутствием пор. Но присутствует волнообразное напыление с периодом 1 мкм;
- Удалось провести сравнительный анализ параметров покрытий. Наш образец по параметрам пока сильно уступает образцам, полученным магнетронным напылением в научных центрах. Видно, что достаточно много пор. В условиях сложившейся эпидемиологической обстановки нам не удалось нашего покрытие довести до нужных параметров. Провели эксперименты и теоретические расчеты по удалению конденсата с поверхности покрытий;
- Дальнейшей работой является проведение более подробных экспериментов и эксперименты по использованию стекла для радиозащиты.

### Список цитированных источников

1. Химическая технология стекла и ситаллов. О. В. Казьмина, Э. Н. Беломестнова, А.А. Дитц. Издательство Томского политехнического университета 2011.
2. Семикина Т.В., Комащенко В.Н., Шмырлева Л.Н. Оксидная электроника, как одно из направлений прозрачной электроники// Электроника и связь. 2010 год №3 стр. 20-28.
3. Унтила Г.Г., КостТ.Н. Влияние концентрации олова на состав, оптические и электрические свойства пленок ИТО, осажденных методом ультразвукового спрей-пиролиза на кремний и стекло. //ФТП 2012.-вып.7.-стр 984.
4. Закирова Раушания Мазитовна. Разработка метода модификации свойств ИТО пленок ионно-лучевой обработкой при реактивном ВЧ магнетронном напылении. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Ижевск 2013.
5. Р.Б. Бурлаков. Трехзондовый метод измерения поверхностного сопротивления токопроводящих слоев. Вестник Омского Университета 2016 № 1 стр. 31-30.