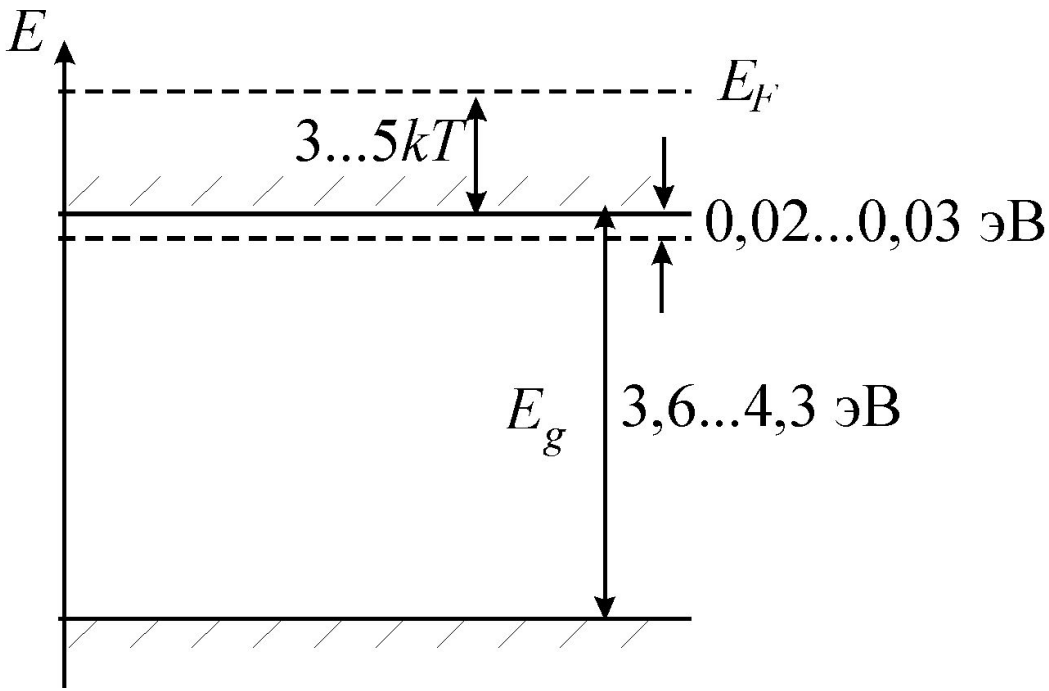
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
Радиофизический факультет

Изготовление, свойства и применение пленок ITO

<u>Л.В.Ищук</u>, доцент кафедры электрофизики,
канд. физ.-мат. наук

Что представляют собой пленки ITO?

ITO = indium-tin oxide = In_2O_3:Sn = In_2O_3(Sn) = $In_{2-x}Sn_xO_{3-y}$



$n = 10^{20}...10^{21}$ см$^{-3}$

$\mu = 10...20$ см^2/В · с

$\rho = 10^{-4}...10^{-2}$ Ом см

$T = 85...90$ %

$R = 95…98$ %

Применение пленок ITO

Авиация, транспорт

Прозрачные антиобледенительные покрытия

Сельское хозяйство

Отражающие ИК излучение и пропускающие видимую часть спектра покрытия для теплиц

Газовые датчики

CO, CO_2, H_2.

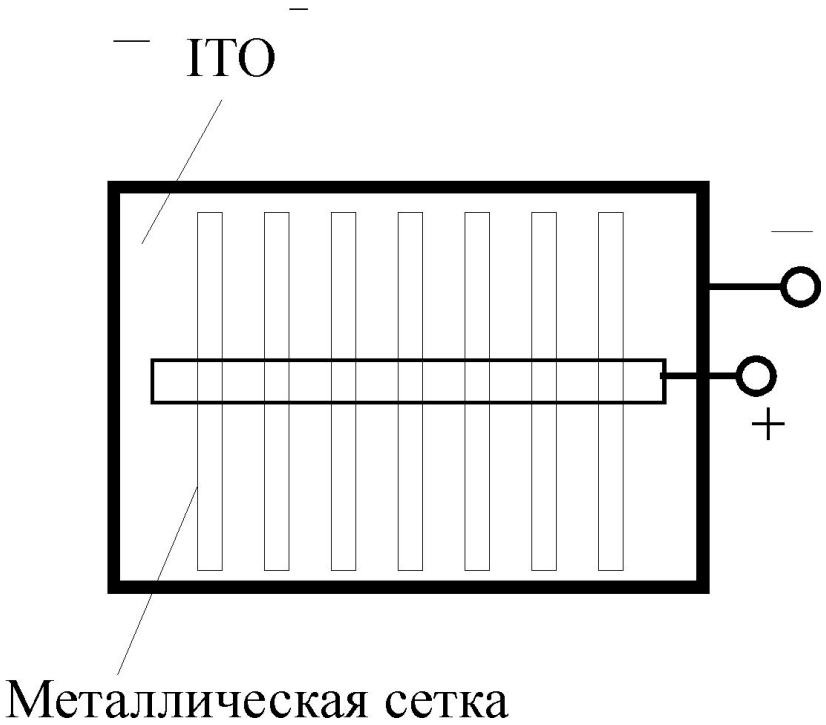
Защитные покрытия

Пленки имеют высокую стойкость к истиранию, потому используются для защиты стеклянных и пластиковых поверхностей от механических повреждений.

Космос

Высокая электропроводность и прозрачность пленок позволяет выровнять потенциал на поверхности спутников (статический заряд может достигать 10кВ), не искажая показания оптических приборов.

Солнечные ячейки на гетеропереходах



Преимущества по сравнению с ячейками на *p-n* переходе:

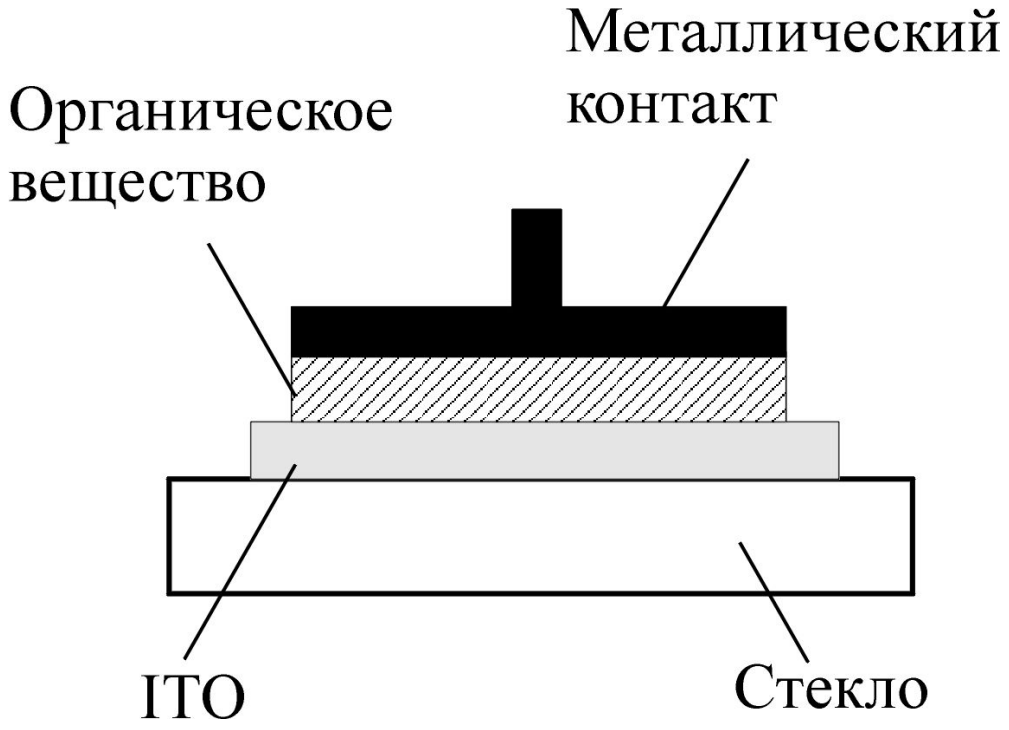
1. Более простое изготовление перехода из-за более низкой температуры его формирования.

2. Солнечное излучение попадает непосредственно в активную область ячейки практически без потерь.

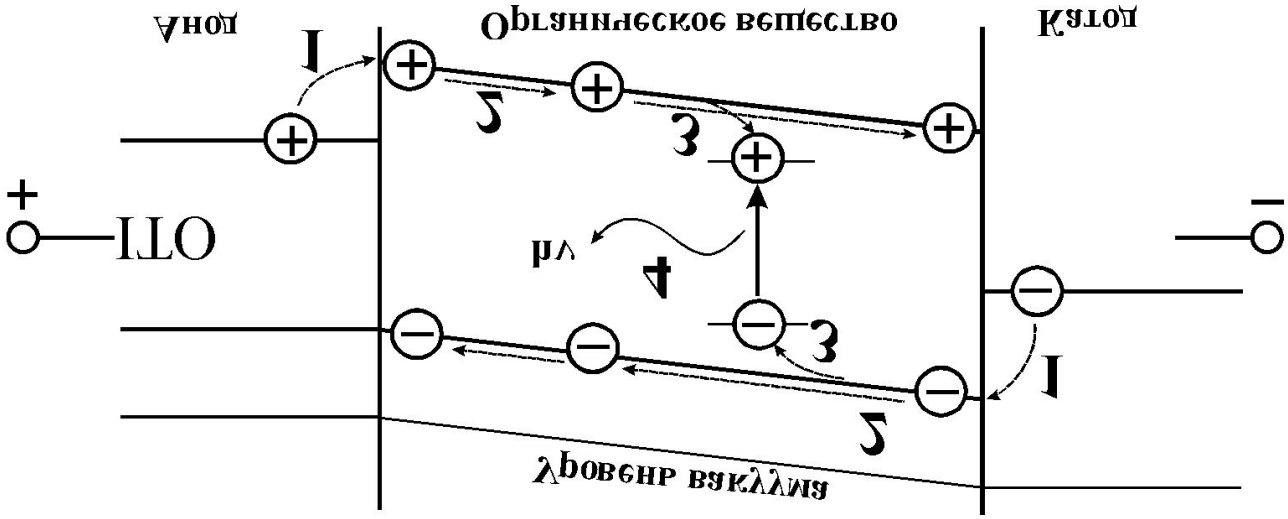
3. Пленка служит одновременно и низкоомным контактом и окном в активную область.

К.п.д. до 15%.

Прозрачные электроды для органических светоизлучающих диодов (OLED)



Возникновение излучения в OLED



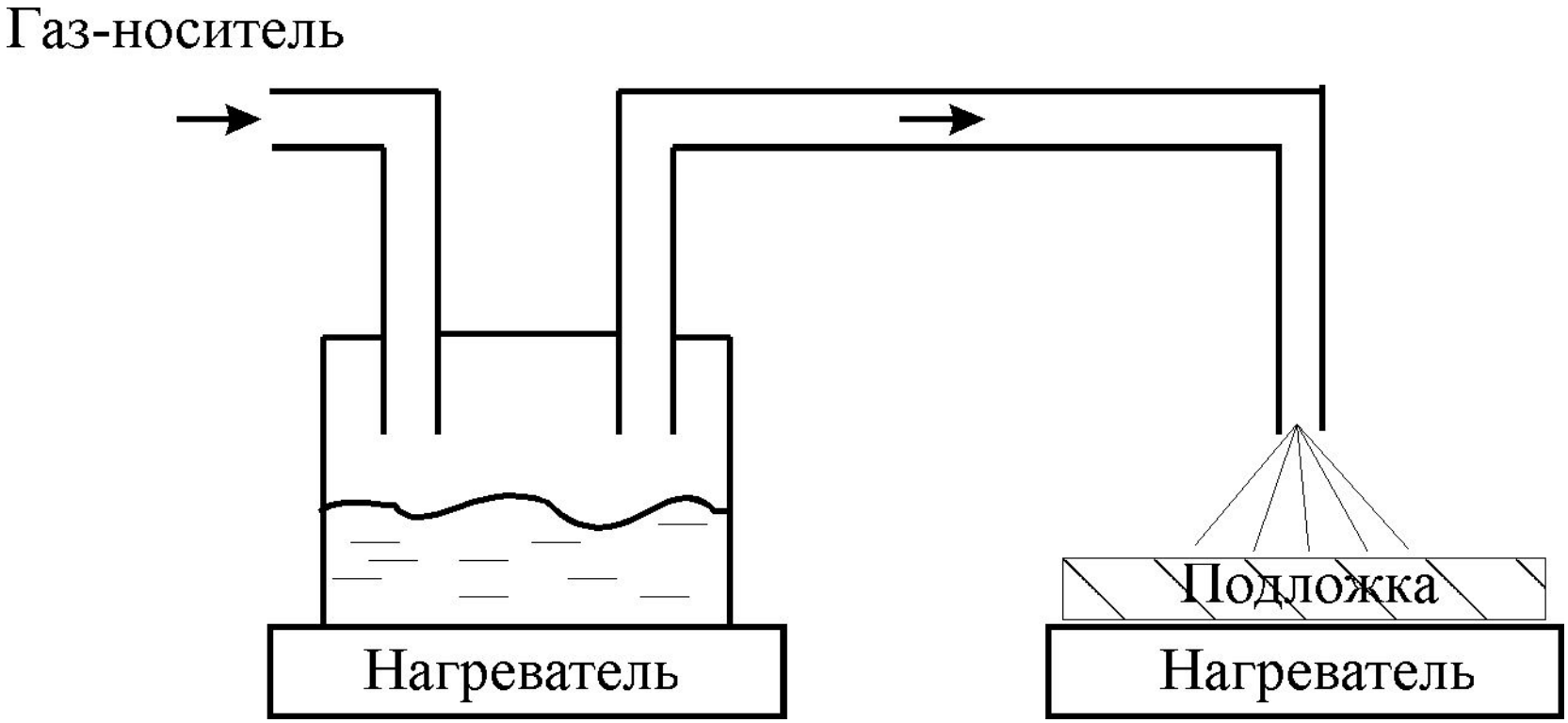
1. Эффективная инжекция носителей заряда из контактов в органическую пленку.

2. Перенос носителей заряда к центрам рекомбинации.

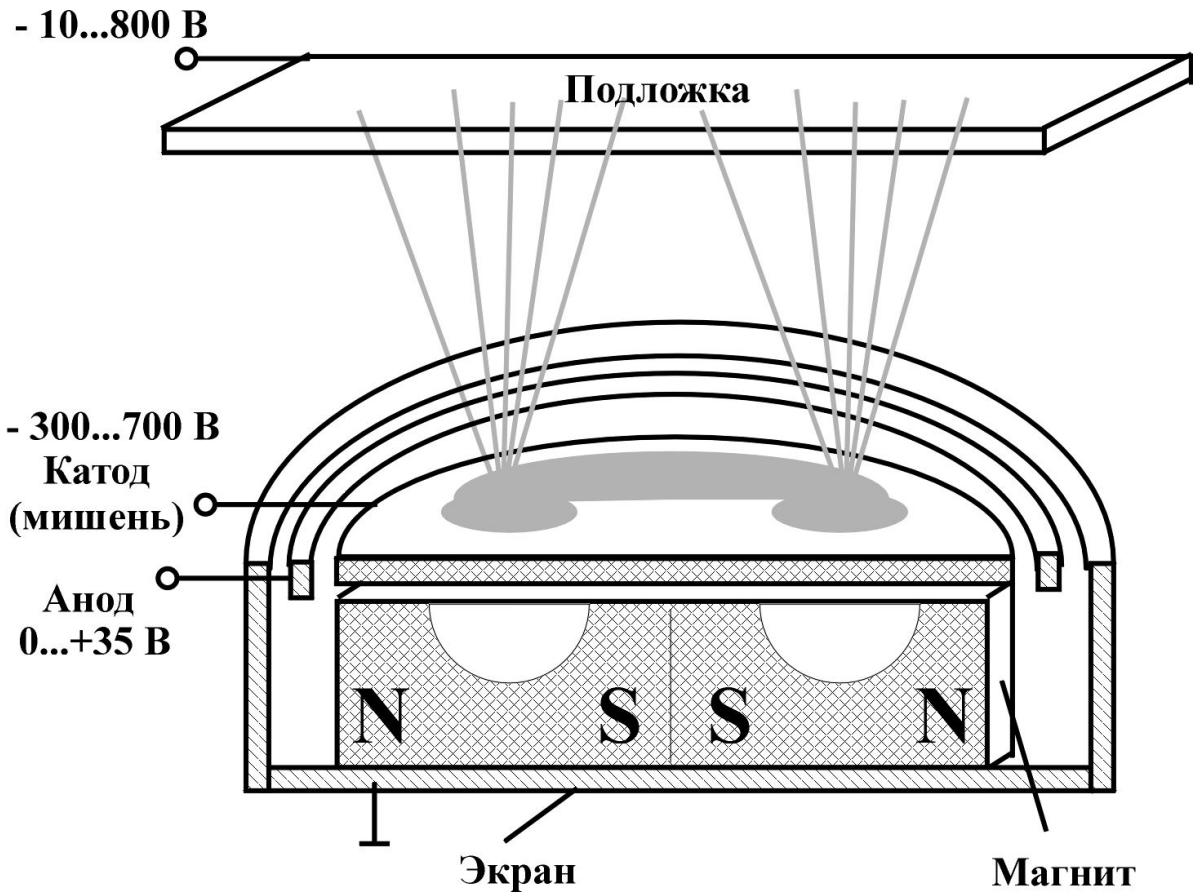
3. Рекомбинация носителей заряда.

4. Излучение кванта света.

Химические методы получения пленок ITO

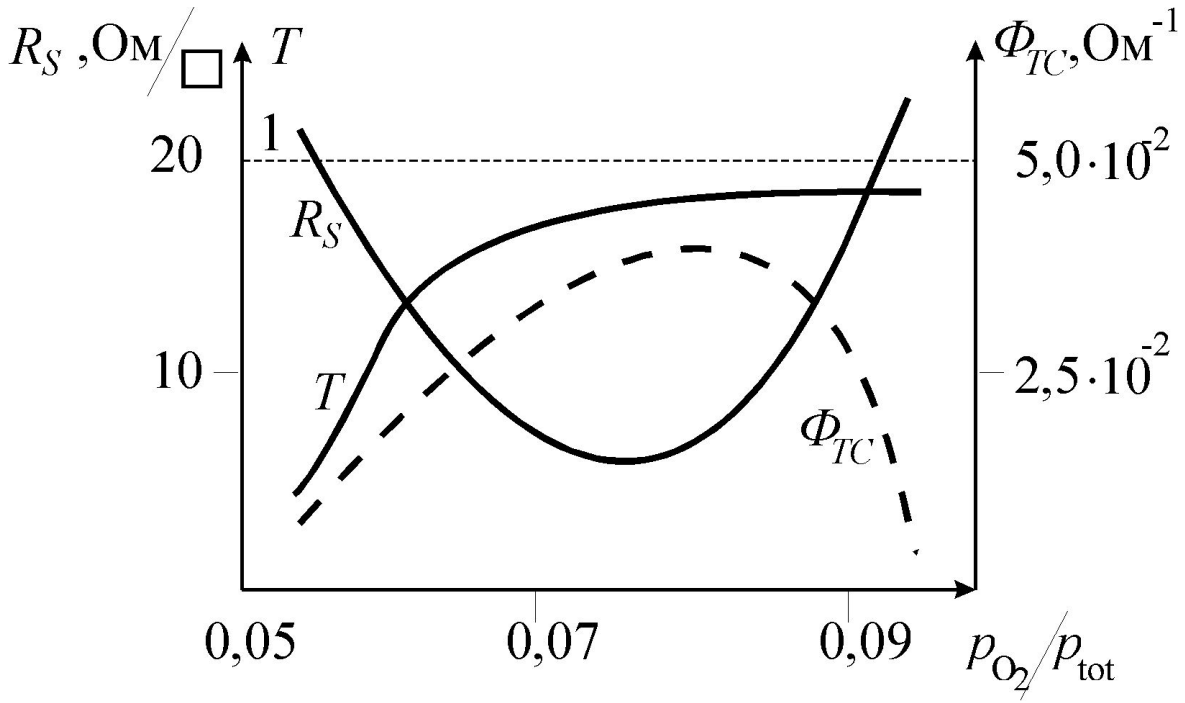


Метод магнетронного распыления



$$p_{Ar} \sim 10^{-4}...10^{-3} \text{ Торр}$$

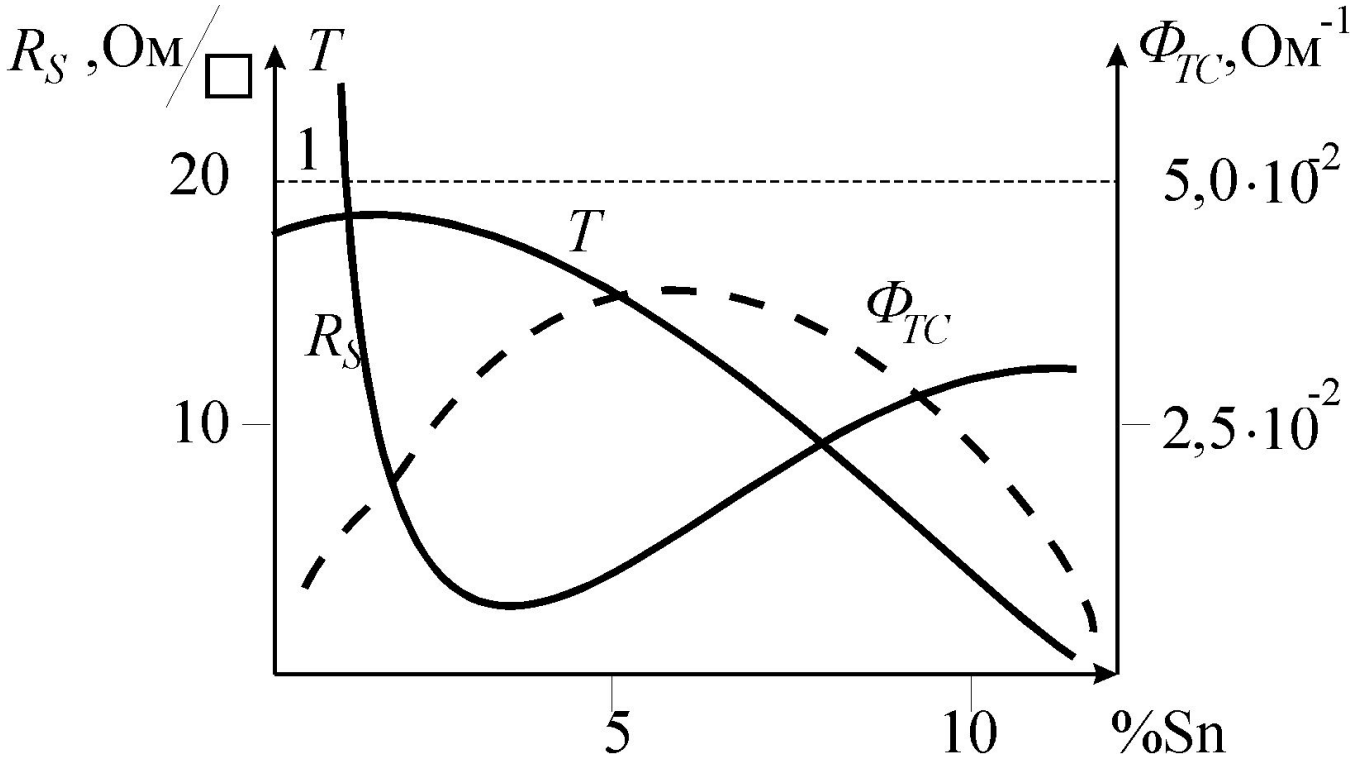
Влияние содержания кислорода в пленках ITO на их свойства



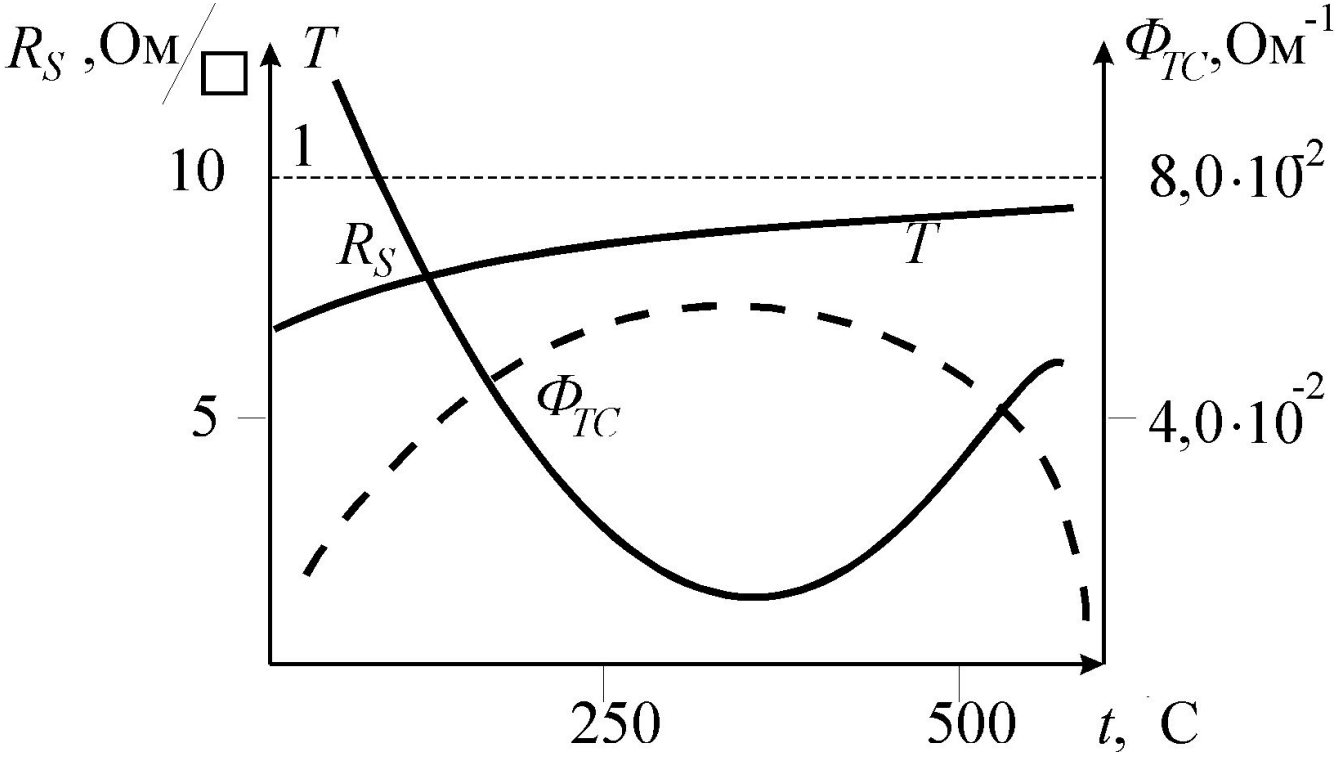
$$\Phi_{TC} = \frac{T^{10}}{R_S}$$ - figure of merit,

$$R_S = \frac{\rho}{d}$$ - поверхностное сопротивление пленки

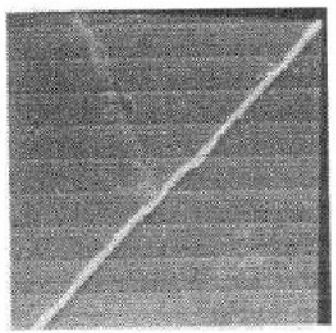
Влияние содержания олова в пленках ITO на их свойства

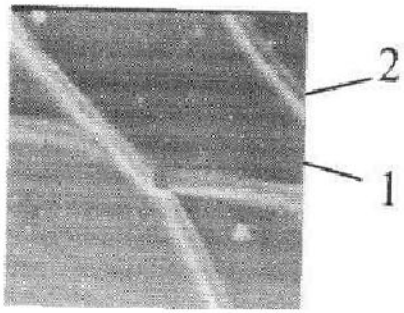


Влияние температуры подложки на свойства пленок ITO



Нити индия в пленках ITO после нагревания их протекающим током





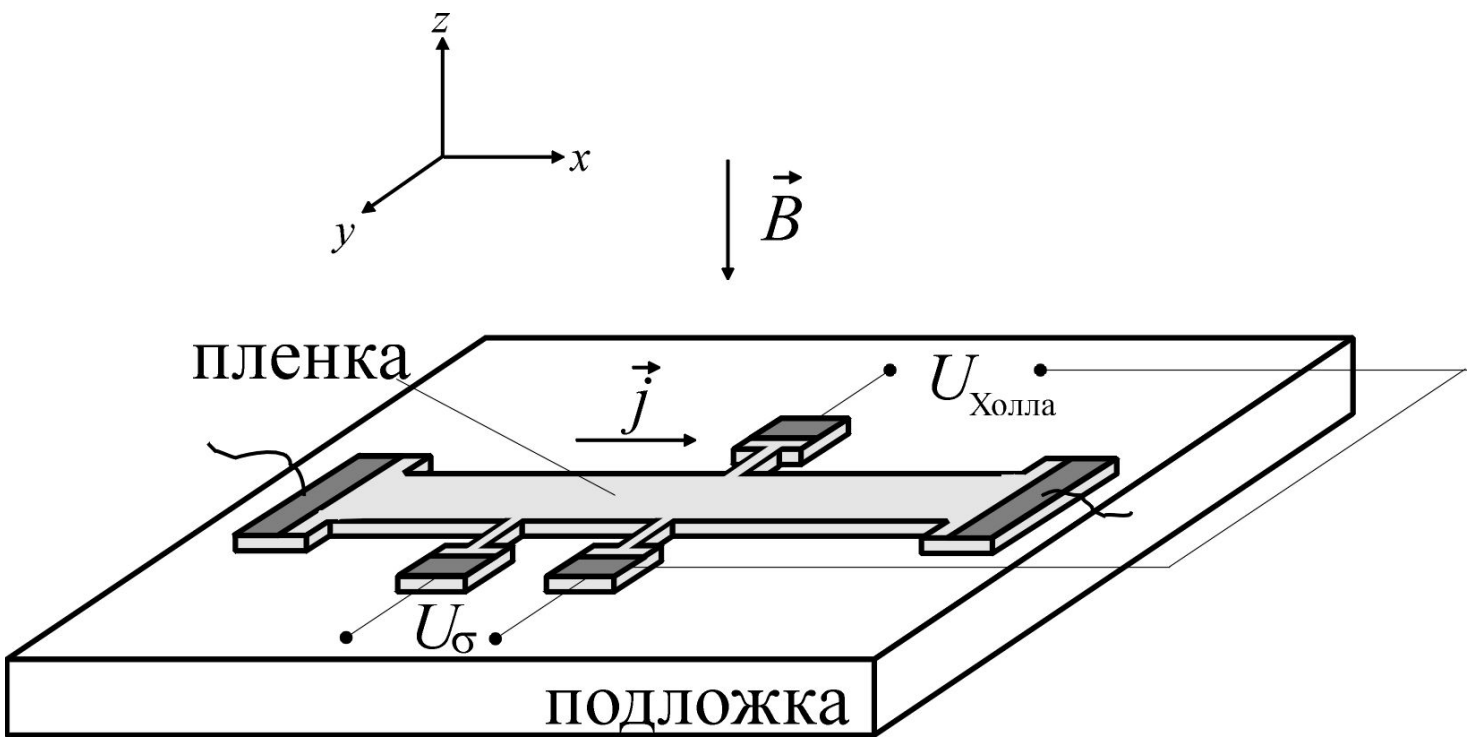
Увеличение при фотографировании 3000:1.

Поперечный размер нитей ~ 1 мкм.

Состав пленки в указанных точках:

1 – 91%In:9%Sn; 2 – 99%In:1%Sn .

Форма пленки ITO для измерения поля Холла



Завимость поля Холла от магнитного поля

Условие слабого магнитного поля

$$(\mu B)^2 << 1$$

$$\mu_1 = 21 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$n_1 = 1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$$

$$\mu_2' = 2,3 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$n_2' = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$$

$$\mu_2 = 4,1 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$n_2 = 3,1 \cdot 10^{14} \text{см}^{-3}$$

Расчет поля Холла в пленках ITO при наличии двух типов электронов : быстрых и медленных

$$\left.\begin{aligned} \mu_1 &<< \mu_2 \\ n_1 &>> n_2 \end{aligned}\right\}$$

$$\vec{j}_1 = e\mu_1 n_1 \vec{E} - \mu_1\, grad\, n_1 - \mu_1 \left[\vec{j}_1 \times \vec{B}\right]$$
$$\vec{j}_2 = e\mu_2 n_2 \vec{E} - \mu_2\, grad\, n_2 - \mu_2 \left[\vec{j}_2 \times \vec{B}\right]$$

$$grad\, n_1 = grad\, n_2 = 0$$

$$j_y = j_{1y} + j_{2y} = 0$$

$$\vec{j}_1 = e\mu_1 n_1 \vec{E} - \mu_1 \left[\vec{j}_1 \times \vec{B}\right]$$
$$\vec{j}_2 = e\mu_2 n_2 \vec{E} - \mu_2 \left[\vec{j}_2 \times \vec{B}\right]$$

$$E_y = -\frac{\dfrac{\mu_1^2 n_1}{1+(\mu_1 B)^2} + \dfrac{\mu_2^2 n_2}{1+(\mu_2 B)^2}}{\dfrac{\mu_1 n_1}{1+(\mu_1 B)^2} + \dfrac{\mu_2 n_2}{1+(\mu_2 B)^2}} BE_x$$

$$E_y = -\mu_1 B E_x$$

Определение концентрации и подвижности быстрых и медленных электронов

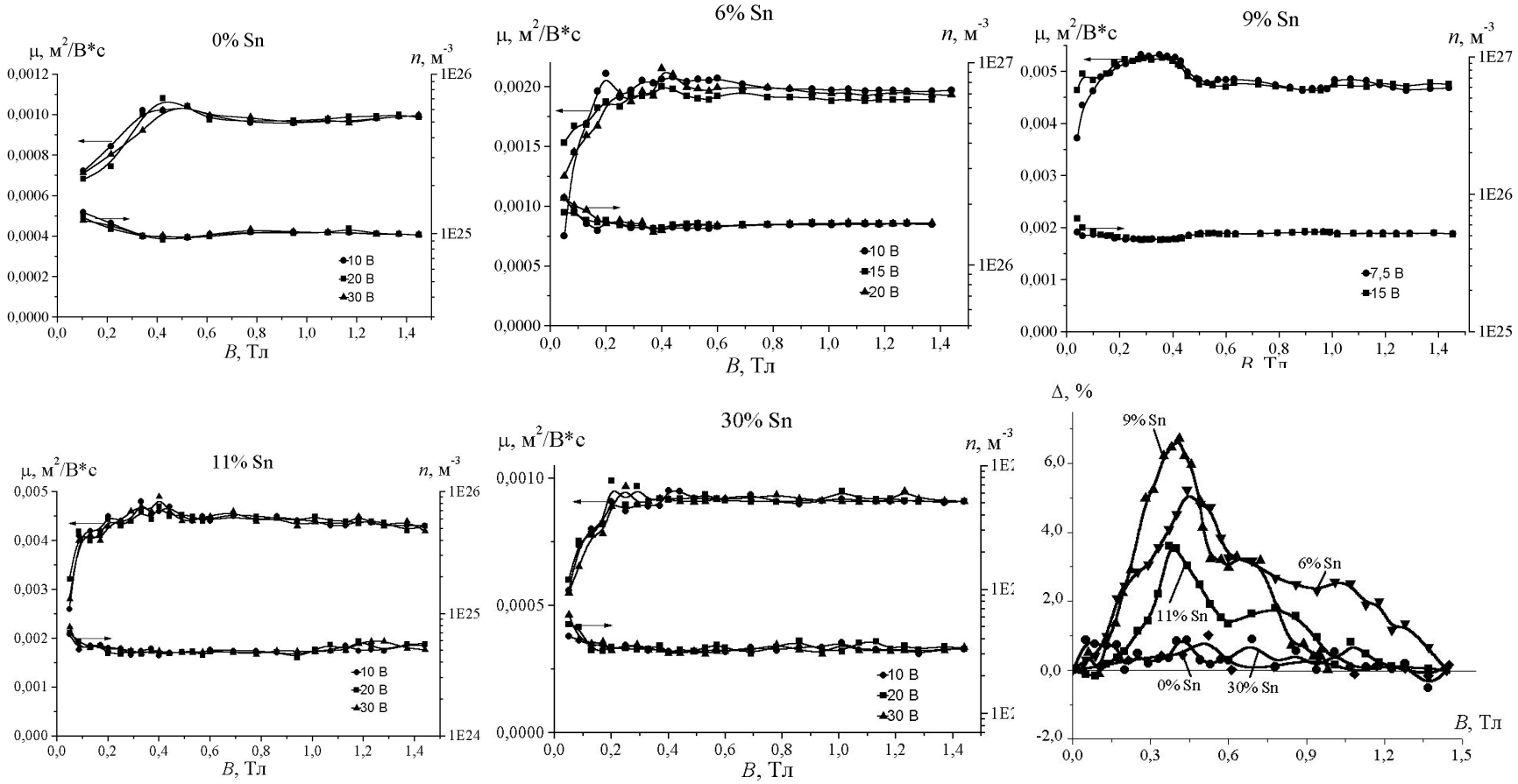
$$\frac{dE_y(B)}{dB} = 0 \qquad B_0 = \sqrt{\frac{1}{\mu_1\mu_2(\mu_1 n_2 + \mu_2 n_1)}\left[\frac{(\mu_1+\mu_2)(\mu_1-\mu_2)^2 n_1 n_2}{2\mu_1\mu_2(n_1+n_2)} - (\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2)\right]}$$

$$\frac{d^2E_y(B)}{dB^2} = 0 \qquad B_0^* = \sqrt{\frac{3(\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2)}{\mu_1\mu_2(\mu_1 n_2 + \mu_2 n_1)}}$$

$$\frac{B_0}{B_0^*} \approx \frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{1}{2\left[\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^2 \cdot \frac{n_1}{n_2} + \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)\right]} - 1} \qquad \frac{\mu_1}{\mu_2} \sim 10^{-3} \qquad \frac{n_1}{n_2} \sim 10^5 \qquad \frac{B_0}{B_0^*} \approx 1$$

$$\mu_2 = \frac{4\mu_1 B_0 + \sqrt{3}(1+\mu_1^2 B_0^2)}{(1-3\mu_1^2 B_0^2)B_0} \qquad n_2 = 8n_1 \frac{\mu_1^2 B_0^2\left[5\mu_1 B_0 - 3\mu_1^3 B_0^3 + \sqrt{3}(1+\mu_1^2 B_0^2)\right]}{(1-3\mu_1^2 B_0^2)(3-\mu_1^2 B_0^2)\left[4\mu_1 B_0 + \sqrt{3}(1+\mu_1^2 B_0^2)\right]}$$

Зависимость степени нелинейности поля Холла от содержания олова в пленках ITO



Эффект магнитосопротивления в пленках ITO при комнатной и азотной температурах

$$\frac{\rho_H - \rho_0}{\rho_0} = \frac{(\mu_1 - \mu_2)^2 B^2}{\mu_1 n_1 + \mu_2 n_2} \cdot \left[\frac{1 + (\mu_1 B)^2}{\mu_1 n_1} + \frac{1 + (\mu_2 B)^2}{\mu_2 n_2} \right]^{-1}$$

Выводы

1. Пленки ITO имеют широкое применение в науке, технике, хозяйстве вследствие своих уникальных свойств: высокая электропроводность, прозрачность в видимой части спектра и отражение в ИК области.

2. Для получения их существует много способов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

3. Свойства пленок ITO сильно зависят от их состава и условий нанесения.

4. Пленки ITO представляют собой интересный объект для фундаментальных исследований вследствие своей слабоисследованности. Обнаружение в них двух типов носителей заряда и отрицательного магнитосопротивления при температуре жидкого гелия тому подтверждение.

Дякую за увагу !