

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
Радиофизический факультет

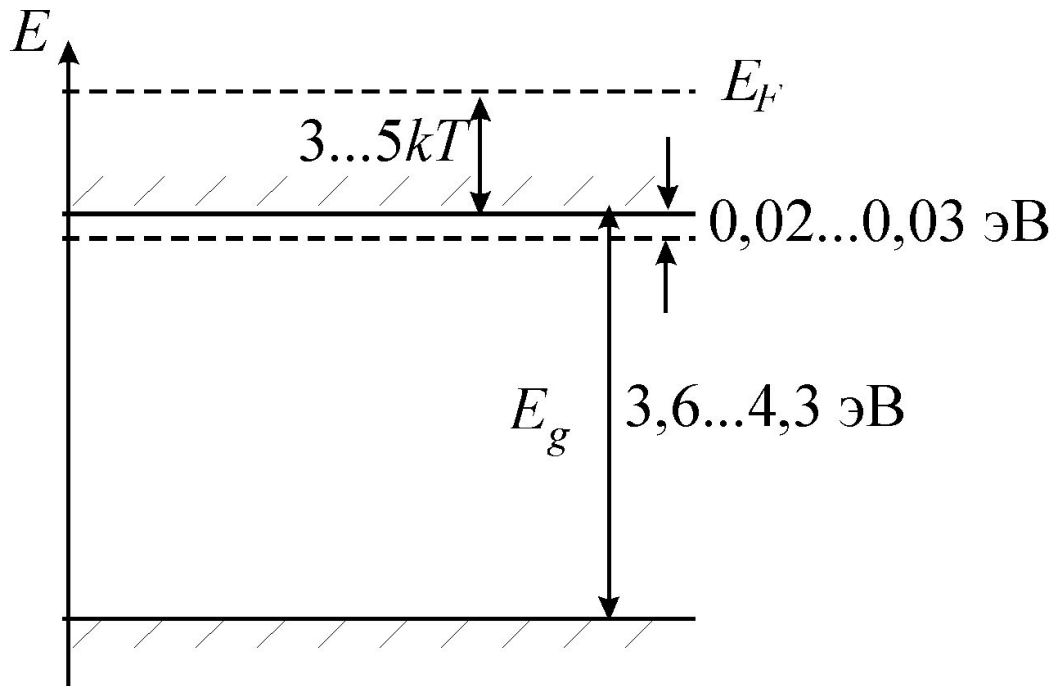


Изготовление, свойства и применение пленок ITO

**Л.В.Ищук, доцент кафедры электрофизики,
канд. физ.-мат. наук**

Что представляют собой пленки ИТО?

ИТО = indium-tin oxide = $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn} = \text{In}_2\text{O}_3(\text{Sn}) = \text{In}_{2-x}\text{Sn}_x\text{O}_{3-y}$



$$n = 10^{20} \dots 10^{21} \text{ см}^{-3}$$

$$\mu = 10 \dots 20 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$\rho = 10^{-4} \dots 10^{-2} \text{ Ом см}$$

$$T = 85 \dots 90 \%$$

$$R = 95 \dots 98 \%$$

Применение пленок ITO

Авиация, транспорт

Прозрачные антиобледенительные покрытия

Сельское хозяйство

Отражающие ИК излучение и пропускающие видимую часть спектра покрытия для теплиц

Газовые датчики

CO, CO₂, H₂.

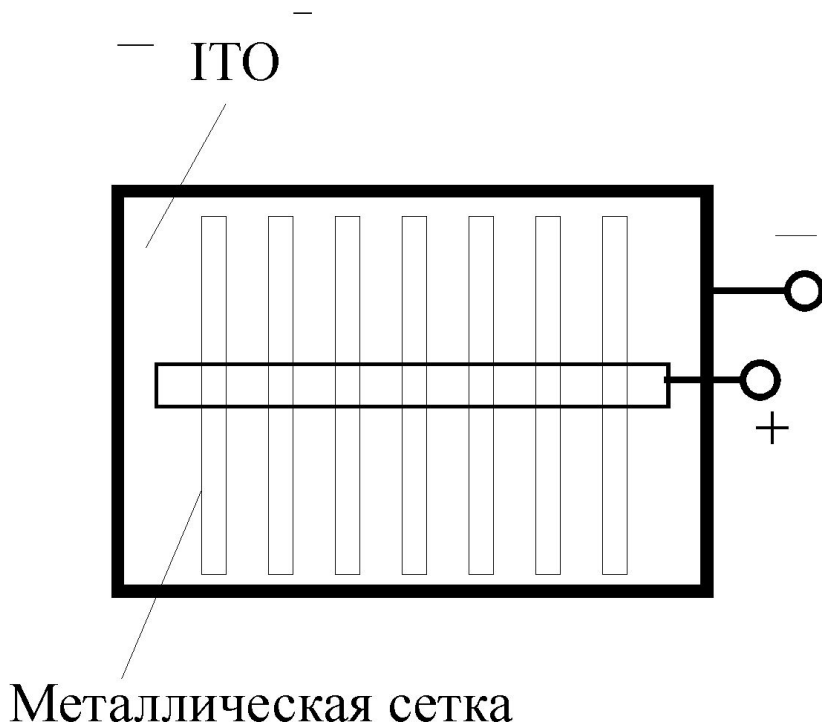
Защитные покрытия

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

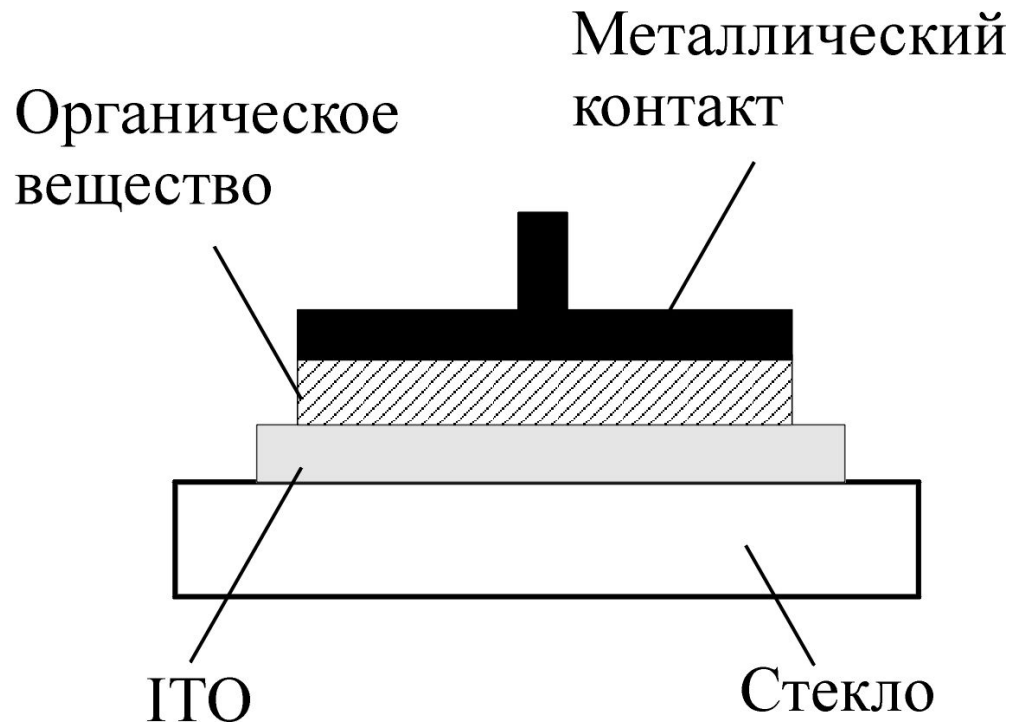


Преимущества по сравнению с ячейками на $p-n$ переходе:

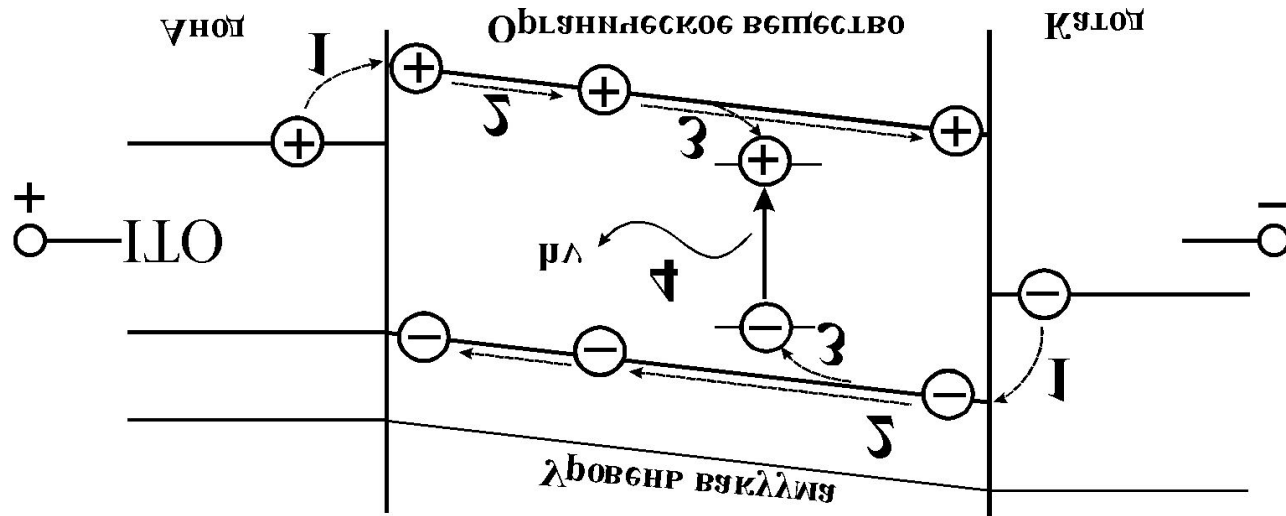
1. Более простое изготовление перехода из-за более низкой температуры его формирования.
2. Солнечное излучение попадает непосредственно в активную область ячейки практически без потерь.
3. Пленка служит одновременно и низкоомным контактом и окном в активную область.

К.п.д. до 15%.

Прозрачные электроды для органических светодиодов (OLED)



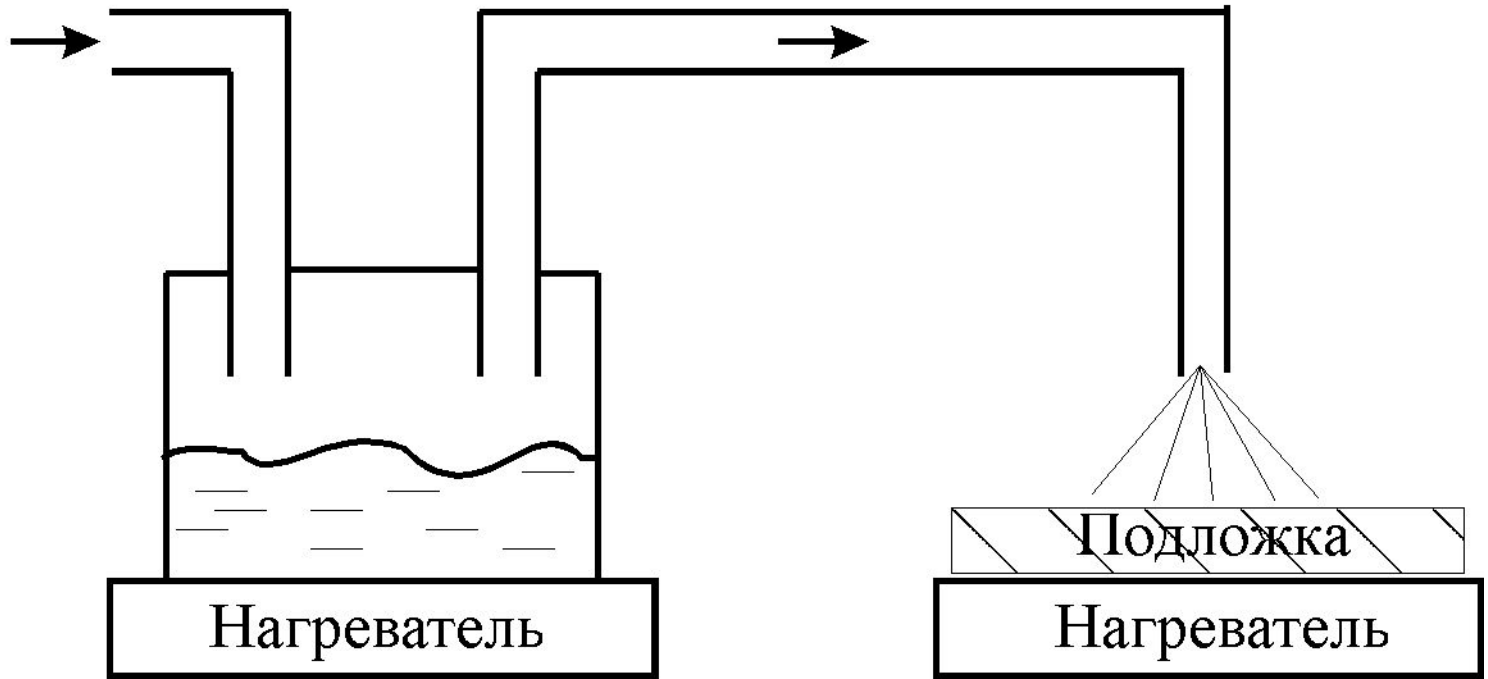
Возникновение излучения в OLED



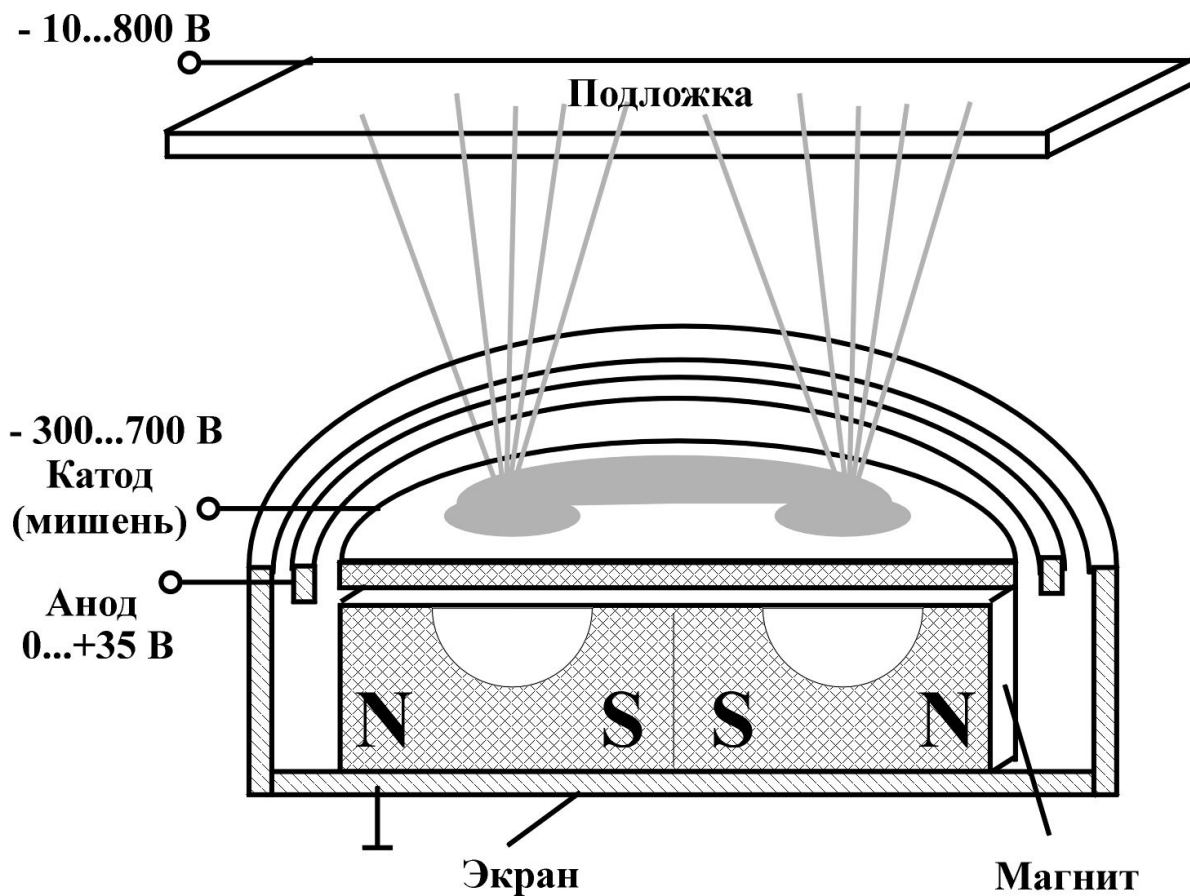
1. Эффективная инжекция носителей заряда из контактов в органическую пленку.
2. Перенос носителей заряда к центрам рекомбинации.
3. Рекомбинация носителей заряда.
4. Излучение кванта света.

Химические методы получения пленок ITO

Газ-носитель

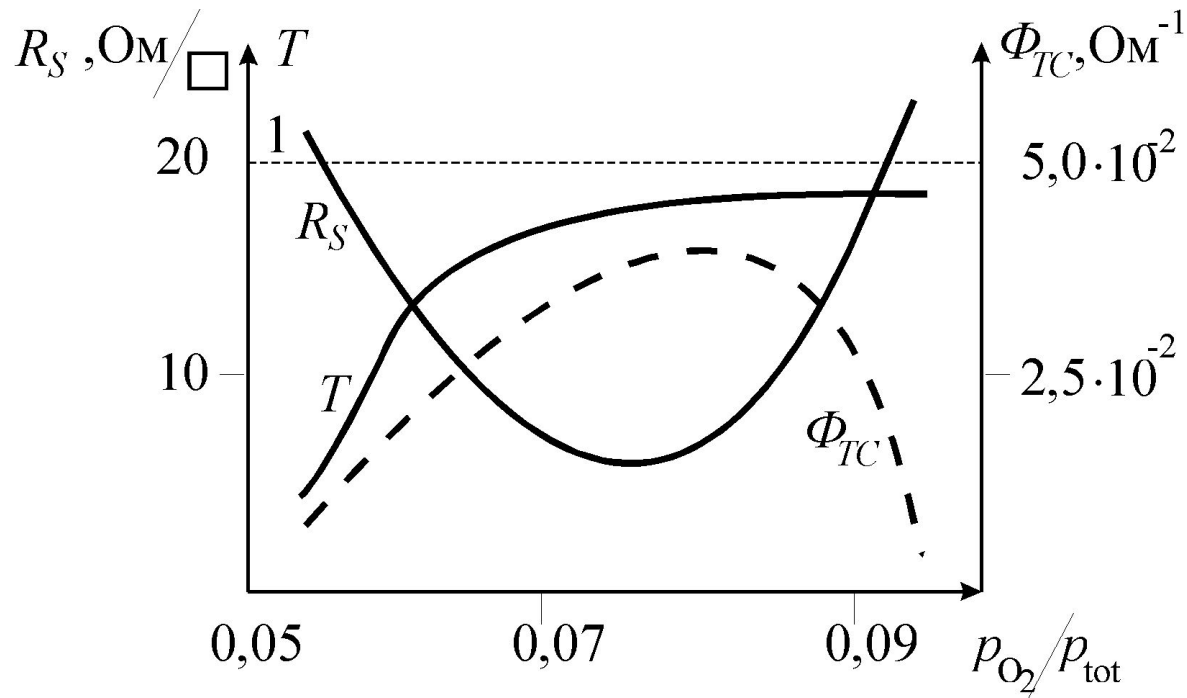


Метод магнетронного распыления



$$p_{Ar} \sim 10^{-4} \dots 10^{-3} \text{ Torr}$$

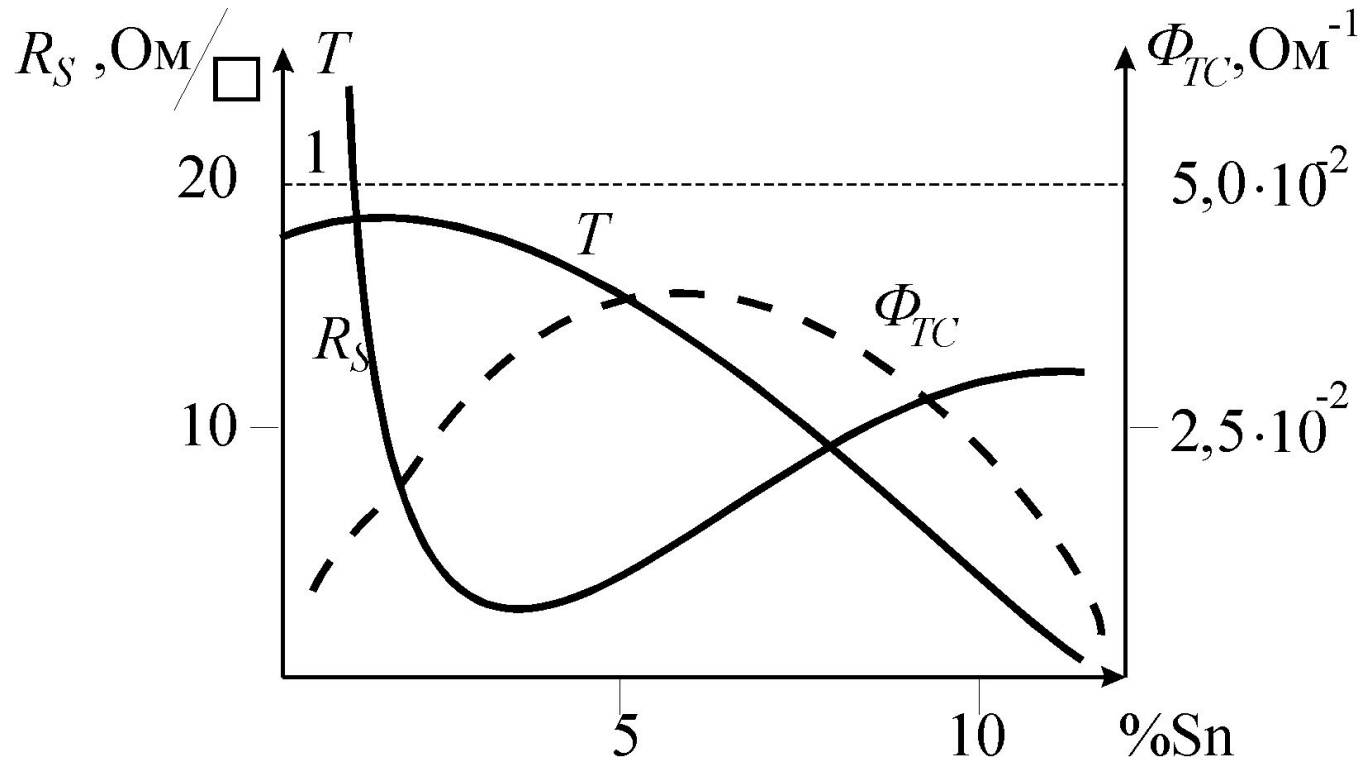
Влияние содержания кислорода в пленках ИТО на их свойства



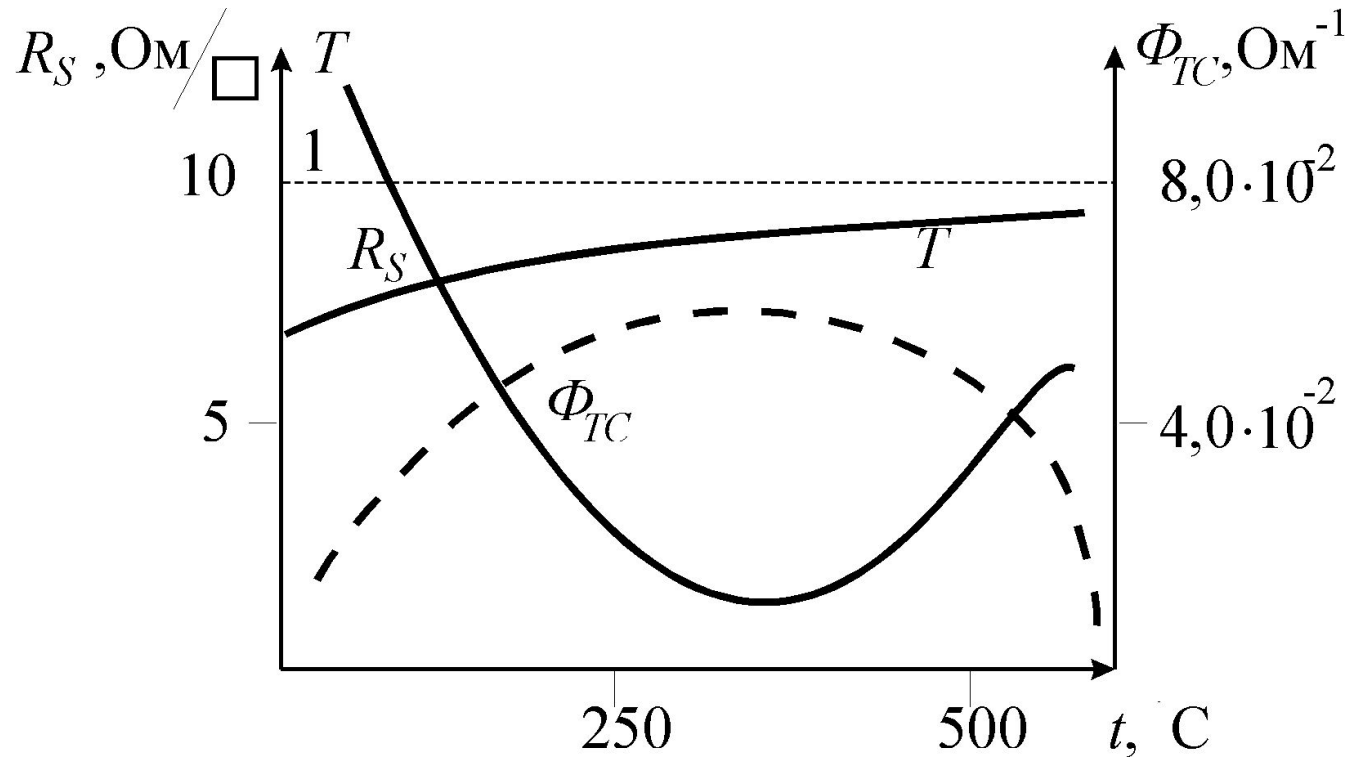
$$\Phi_{TC} = \frac{T^{10}}{R_S} \text{ - figure of merit,}$$

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

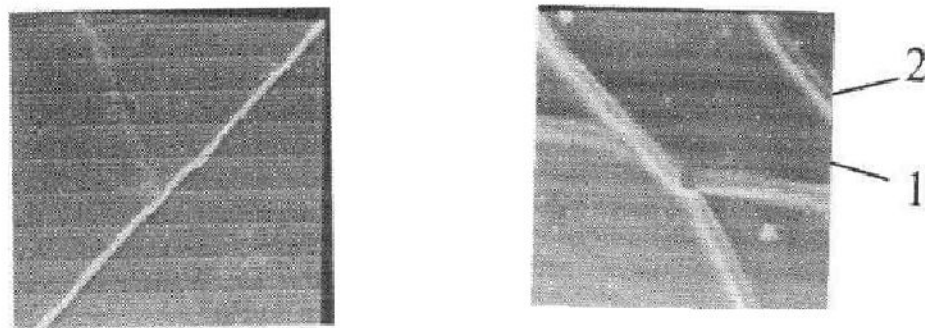
Влияние содержания олова в пленках ИТО на их свойства



Влияние температуры подложки на свойства пленок ITO



Нити индия в пленках ГТО после нагревания их протекающим током



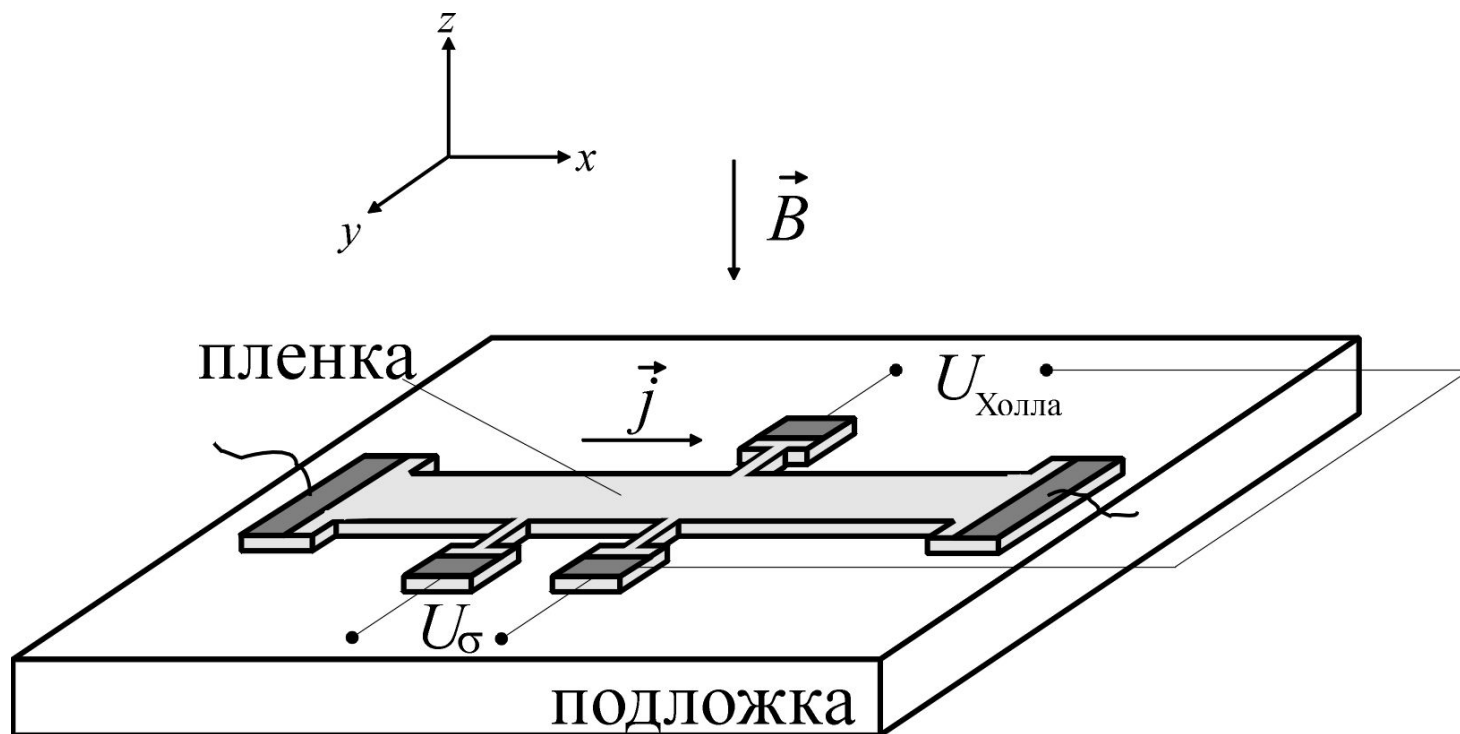
Увеличение при фотографировании 3000:1.

Поперечный размер нитей ~ 1 мкм.

Состав пленки в указанных точках:

1 – 91%In:9%Sn; 2 – 99%In:1%Sn .

Форма пленки ИТО для измерения поля Холла



Зависимость поля Холла от магнитного поля

Условие слабого
магнитного поля

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

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

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

$$\mu'_2 = 2,3 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$n'_2 = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$$

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

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

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

$$\left. \begin{array}{l} \mu_1 \ll \mu_2 \\ n_1 \gg n_2 \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \vec{j}_1 &= e\mu_1 n_1 \vec{E} - \mu_1 \text{grad } n_1 - \mu_1 [\vec{j}_1 \times \vec{B}] \\ \vec{j}_2 &= e\mu_2 n_2 \vec{E} - \mu_2 \text{grad } n_2 - \mu_2 [\vec{j}_2 \times \vec{B}] \end{aligned}$$

$$\text{grad } n_1 = \text{grad } n_2 = 0$$

$$\begin{aligned} \vec{j}_1 &= e\mu_1 n_1 \vec{E} - \mu_1 [\vec{j}_1 \times \vec{B}] \\ \vec{j}_2 &= e\mu_2 n_2 \vec{E} - \mu_2 [\vec{j}_2 \times \vec{B}] \end{aligned}$$

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

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

$$E_y = -\mu_1 B E_x$$

Определение концентрации и подвижности быстрых и медленных электронов

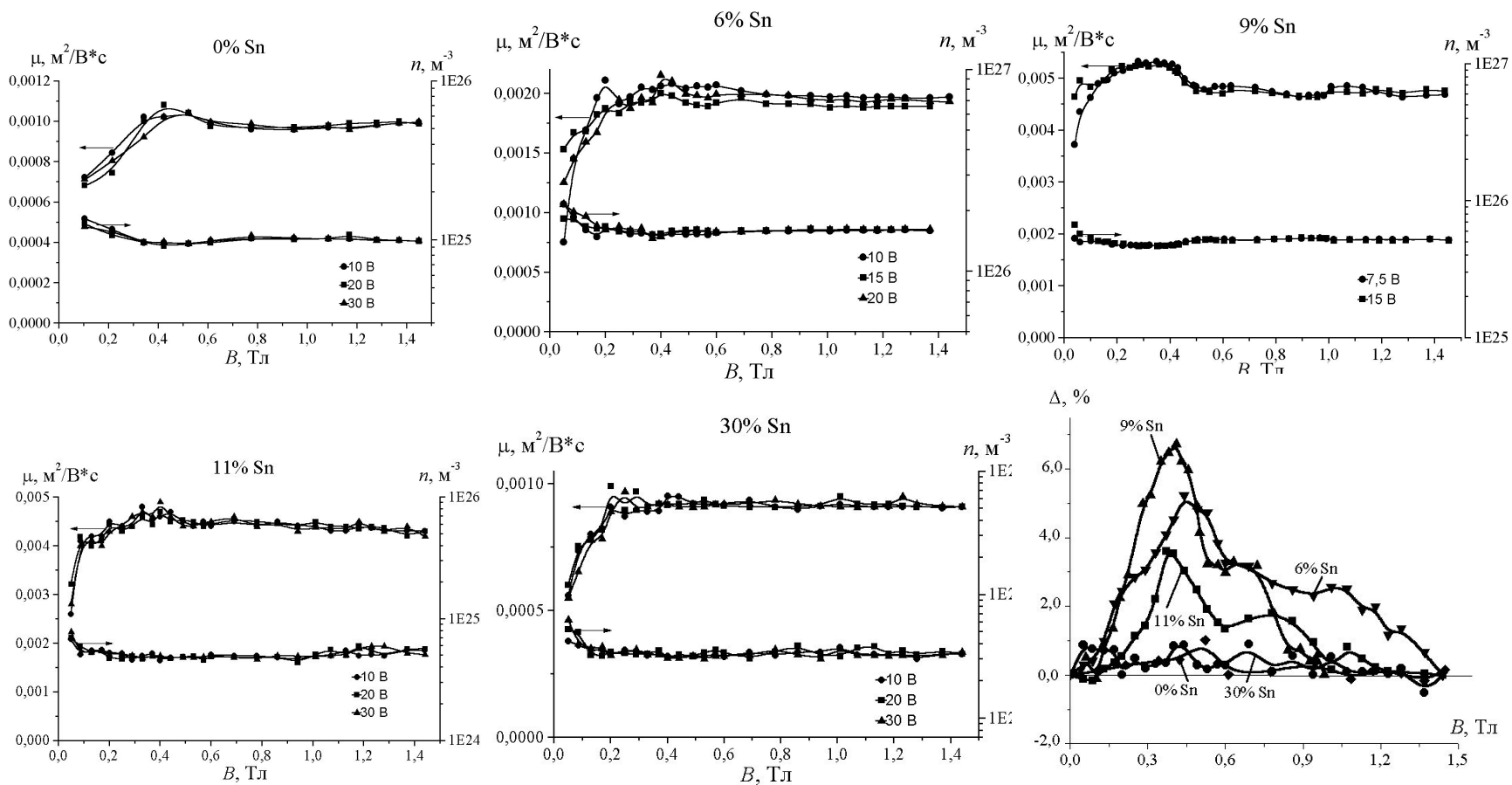
$$\frac{dE_y(B)}{dB} = 0 \quad B_0 = \sqrt{\frac{1}{\mu_1\mu_2(\mu_1n_2 + \mu_2n_1)} \left[\frac{(\mu_1 + \mu_2)(\mu_1 - \mu_2)^2 n_1n_2}{2\mu_1\mu_2(n_1 + n_2)} - (\mu_1n_1 + \mu_2n_2) \right]}$$

$$\frac{d^2E_y(B)}{dB^2} = 0 \quad B_0^* = \sqrt{\frac{3(\mu_1n_1 + \mu_2n_2)}{\mu_1\mu_2(\mu_1n_2 + \mu_2n_1)}}$$

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

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

Зависимость степени нелинейности поля Холла от содержания олова в пленках ITO



Эффект магнитосопротивления в пленках ИТО 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 !