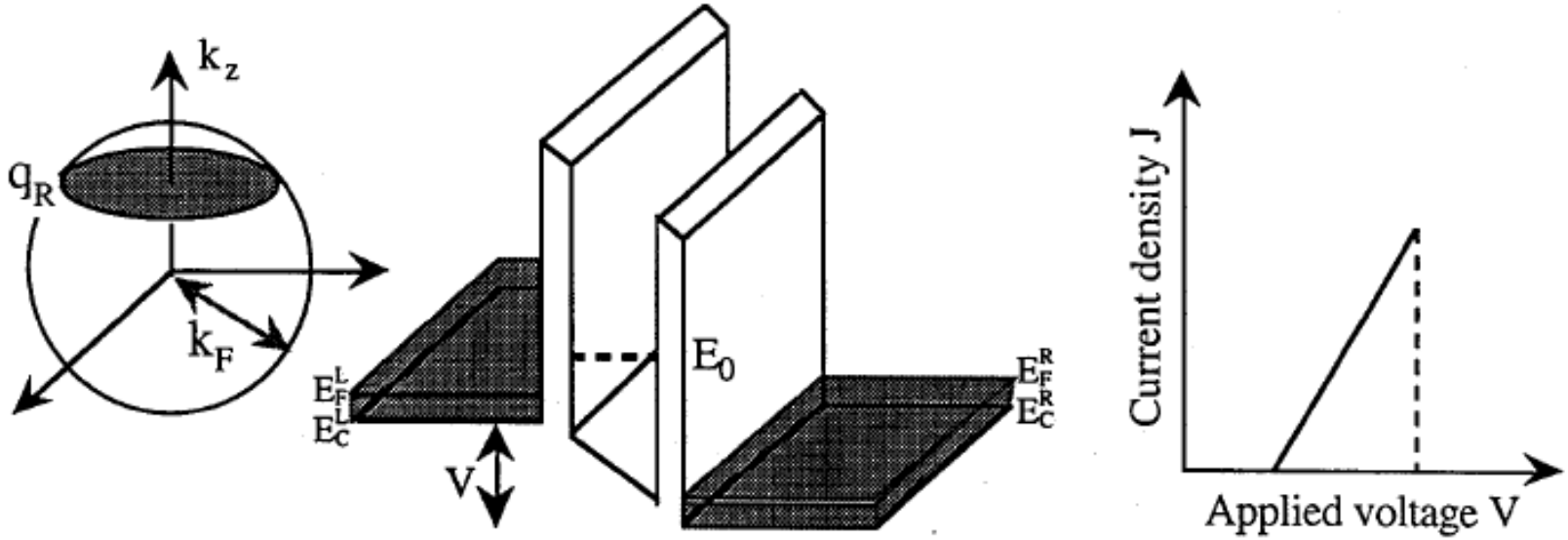
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДА НА РЕЗОНАНСНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

План доклада:

1. ***Резонансное туннелирование: когерентное и последовательное;***
2. ***Накопление заряда , последовательное сопротивление;***
3. ***Актуальность метода туннельной спектроскопии и температурных измерений;***
4. ***Резонансно-туннельные диоды с симметричными и асимметричными барьерами;***
5. ***Постановка эксперимента и его результаты.***

1. *Резонансное туннелирование: когеретное и последовательное*



$$q_R = \frac{\sqrt{2m^*(E_0 - E_C^L)}}{\hbar}$$

$$J \propto \pi(k_F^2 - q_R^2) \propto E_F^L - E_0 \propto V$$

$$\tau_{esc} < \tau_\varphi$$

Когерентное РТ

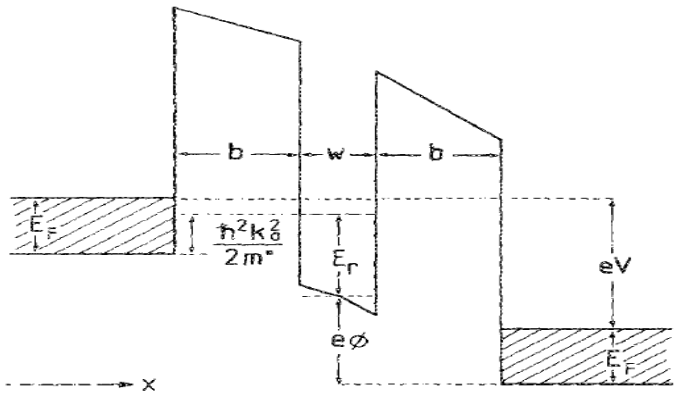
$$\tau_{esc} > \tau_\varphi$$

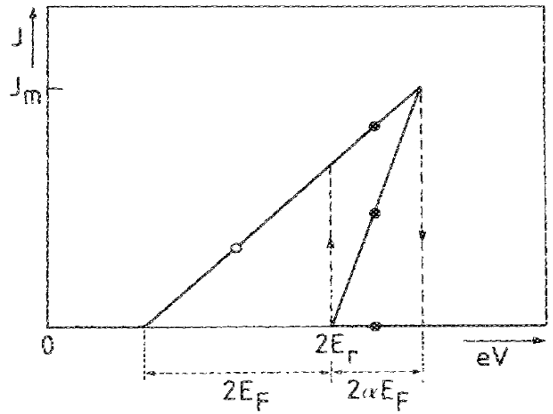
Последовательное РТ

2. *Накопление заряда , последовательное сопротивление*

Накопление заряда в яме

F. W. Sheard, G. A. Toombs, *Appl. Phys. Lett.* **52**, 1228 (1988)



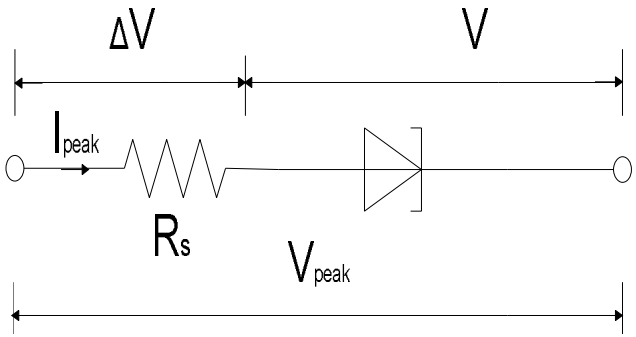


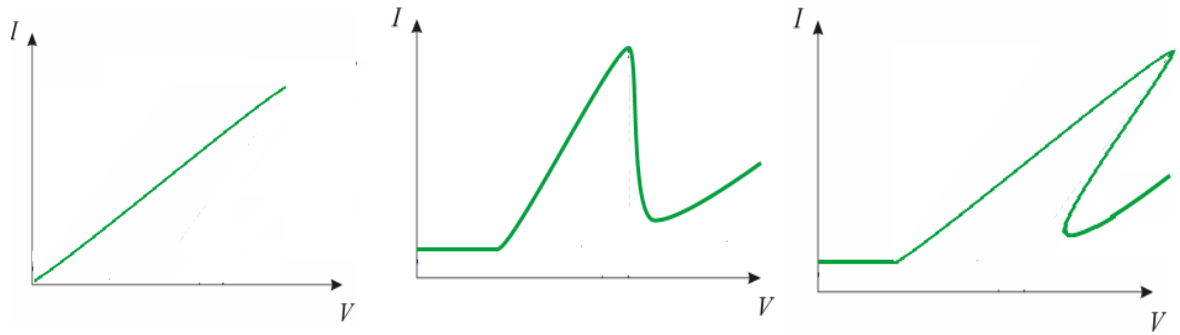
$$\phi = \frac{1}{2}V + \frac{Q}{2C}$$

$$J = \frac{|Q|}{\tau_c}$$

$$\Delta E = e\phi = \frac{e}{2}\left(V - \frac{J\tau_c}{C}\right)$$

Эффект последовательного сопротивления

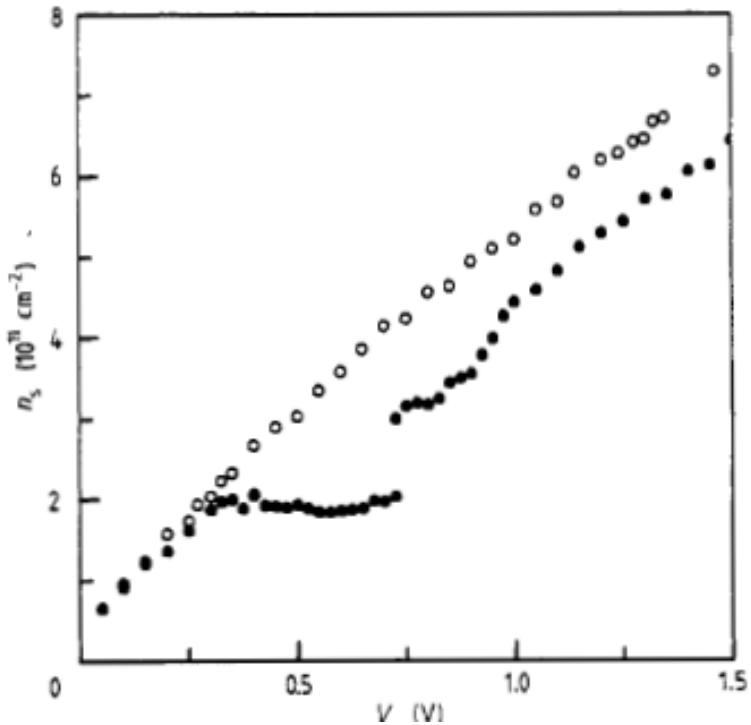




4. Резонансно туннельные диоды с симметричными и асимметричными барьерами

Асимметричный РТД

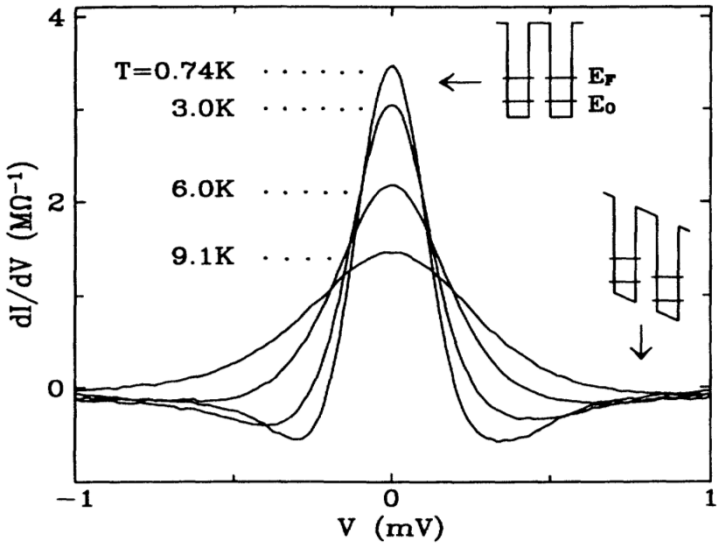
M L Leadbeater at al, *Semicond. Sci. Technol.,* **3**, 1060 (1988)

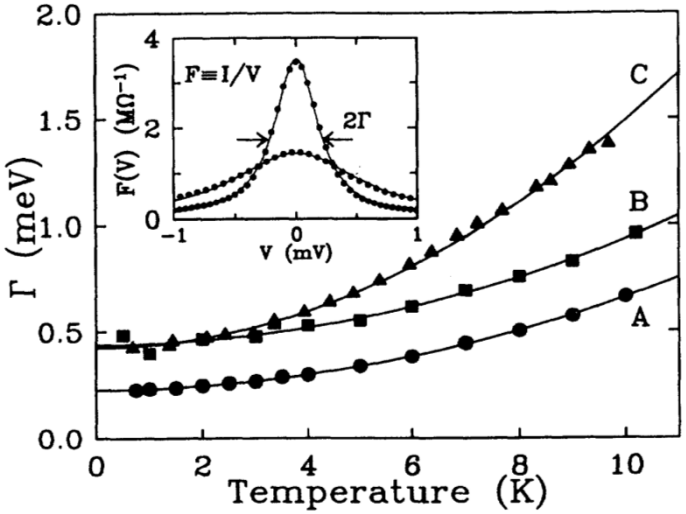


Образец который тоже измерялся в эксперименте.

3. Актуальность метода туннельной спектроскопии и температурных измерений

S. Q. Murphy, J. P. Eisenstein, L. N. Pfeiffer, K. W. West, *Phys. Rev.* **52**, 14825 (1995)





$$I = \alpha \sum_{k,k'} \left| T_{k,k'} \right|^2 \int_{-\infty}^{+\infty} dE \int_{-\infty}^{+\infty} dE' A_L(E,k) A_R(E',k') \left[f(E) - f(E') \right] \delta(E - E' - eV)$$

$$\frac{I}{V} = \beta \left| t \right|^2 \int_{-\infty}^{+\infty} dx A_L(x) A_R(x + E_{F,R} - E_{F,R} - eV)$$

$$\left| T_{k,k'} \right|^2 = \left| t \right|^2 \delta_{k,k'}$$

$$x = E + E_F - \hbar^2 k^2 / 2m$$

4. Резонансно туннельные диоды с симметричными и асимметричными барьерами

$Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ / Ga As / $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$

- **Симметричный РТД**

$Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ (барьеры)-6 нм.

GaAs (квантовая яма) -8 нм.

GaAs (спейсеры)-50 нм.

- **Асимметричный РТД**

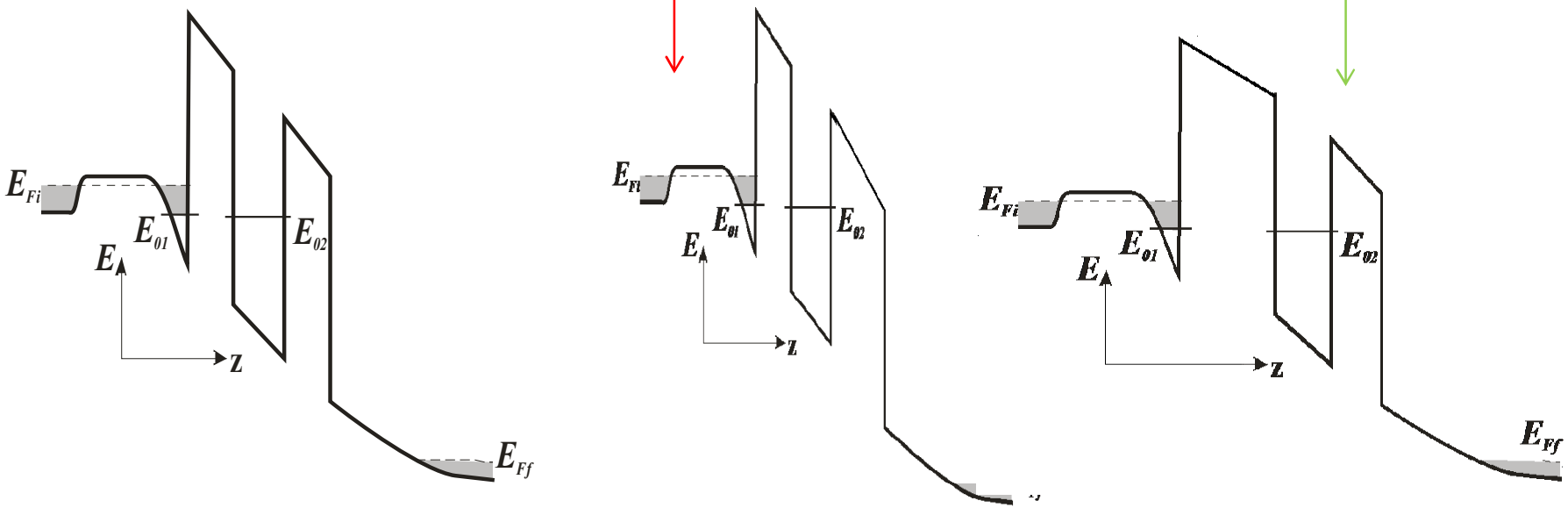
$Al_{0.4}Ga_{0.6}As$ (барьеры)- 11.1 нм и 8.3 нм.

GaAs (квантовая яма) -5.8 нм.

GaAs (спейсеры)-50нм.

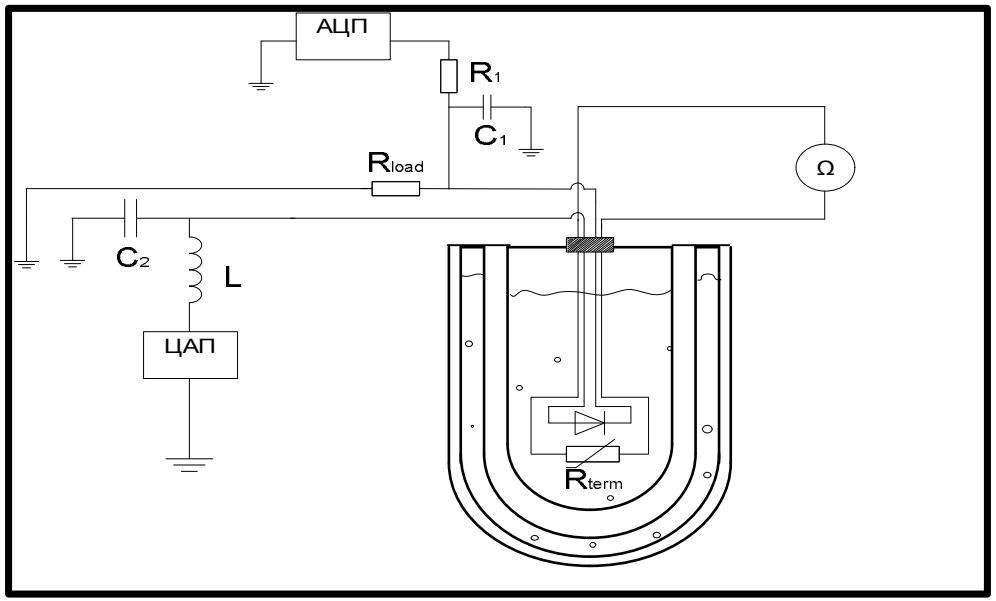
Прямое включение: толстый эмиттер

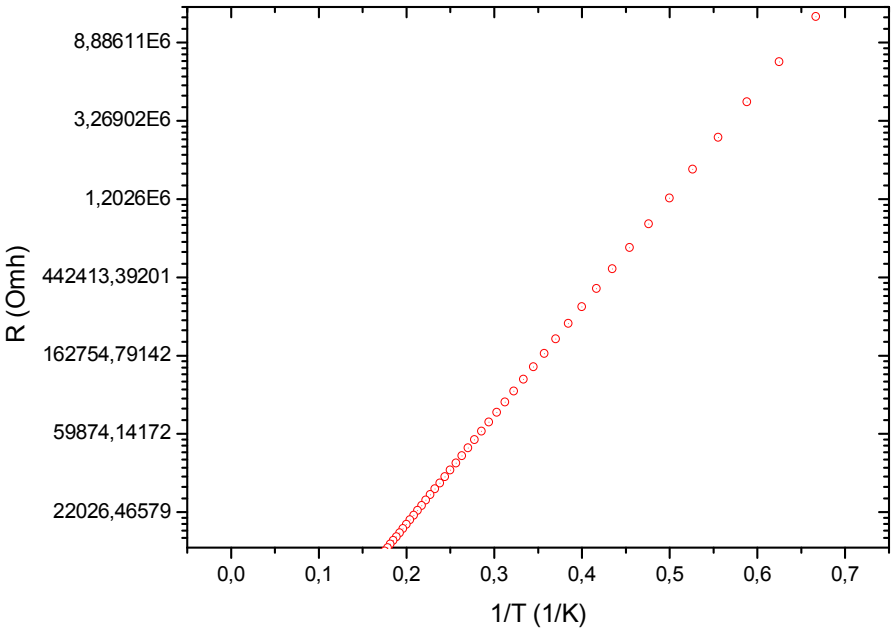
Обратное включение: тонкий эмиттер



5. Постановка эксперимента и его результаты.

Измерительная схема и калибровка терморезистора





R_1=320 Ом

C_1=33 нФ

L=20 мкГн

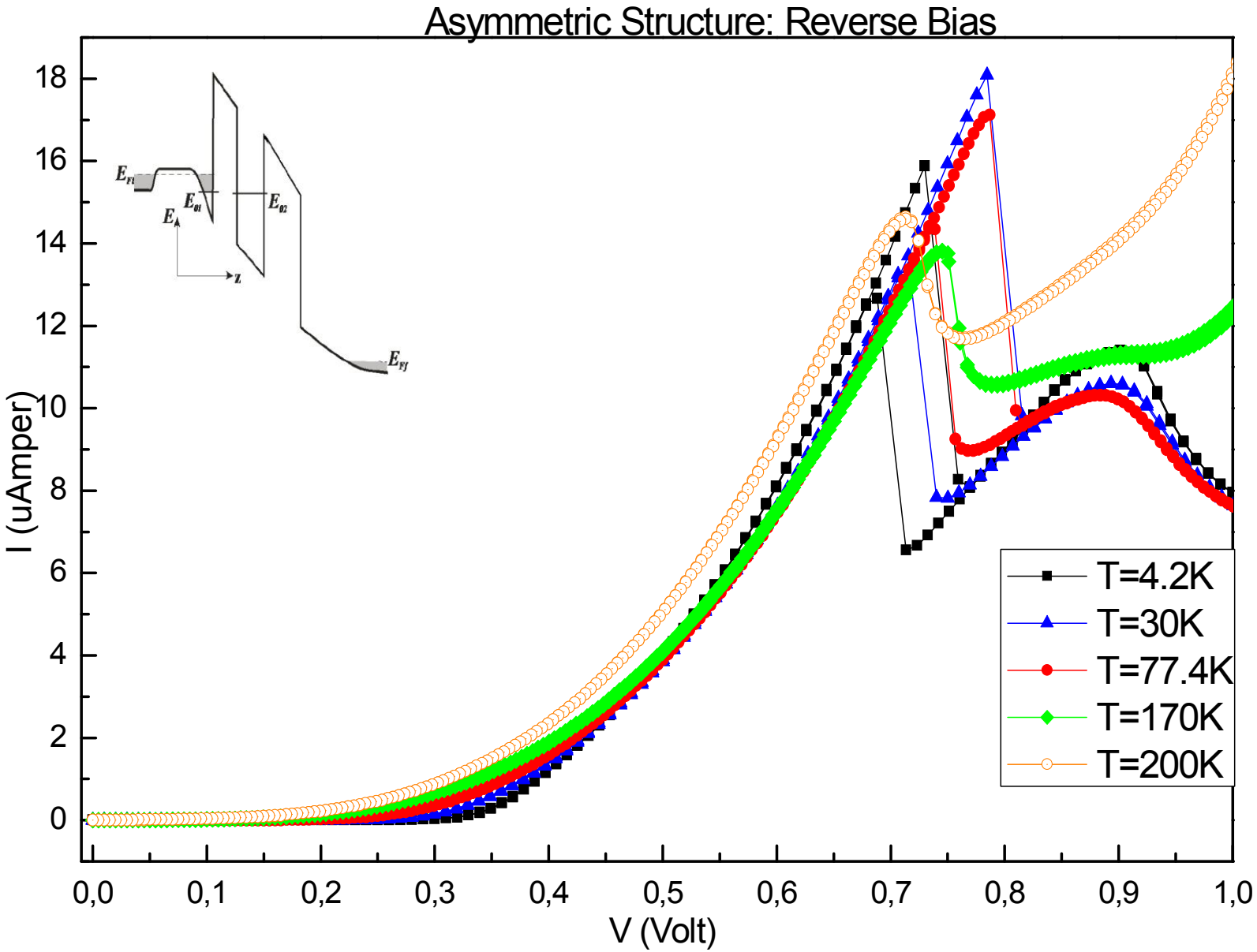
C_2=2.1 мкФ

R_{load}=0.5 кОм, 2.2 кОм, 22 кОм

$$R = R_0 \exp\left(\frac{A}{T} - \frac{B}{T_0}\right)$$

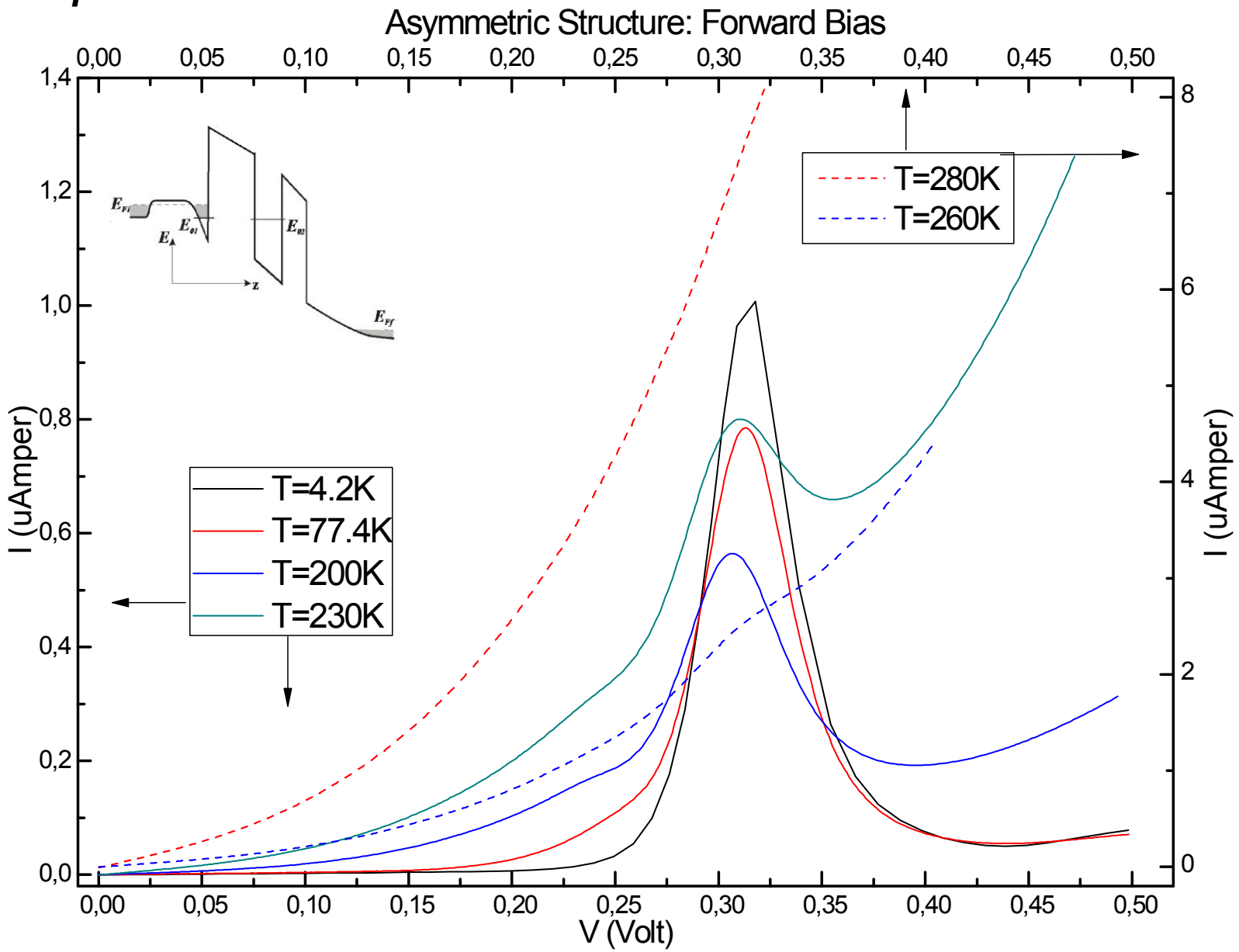
5. *Постановка эксперимента и его результаты.*

Экспериментальные данные



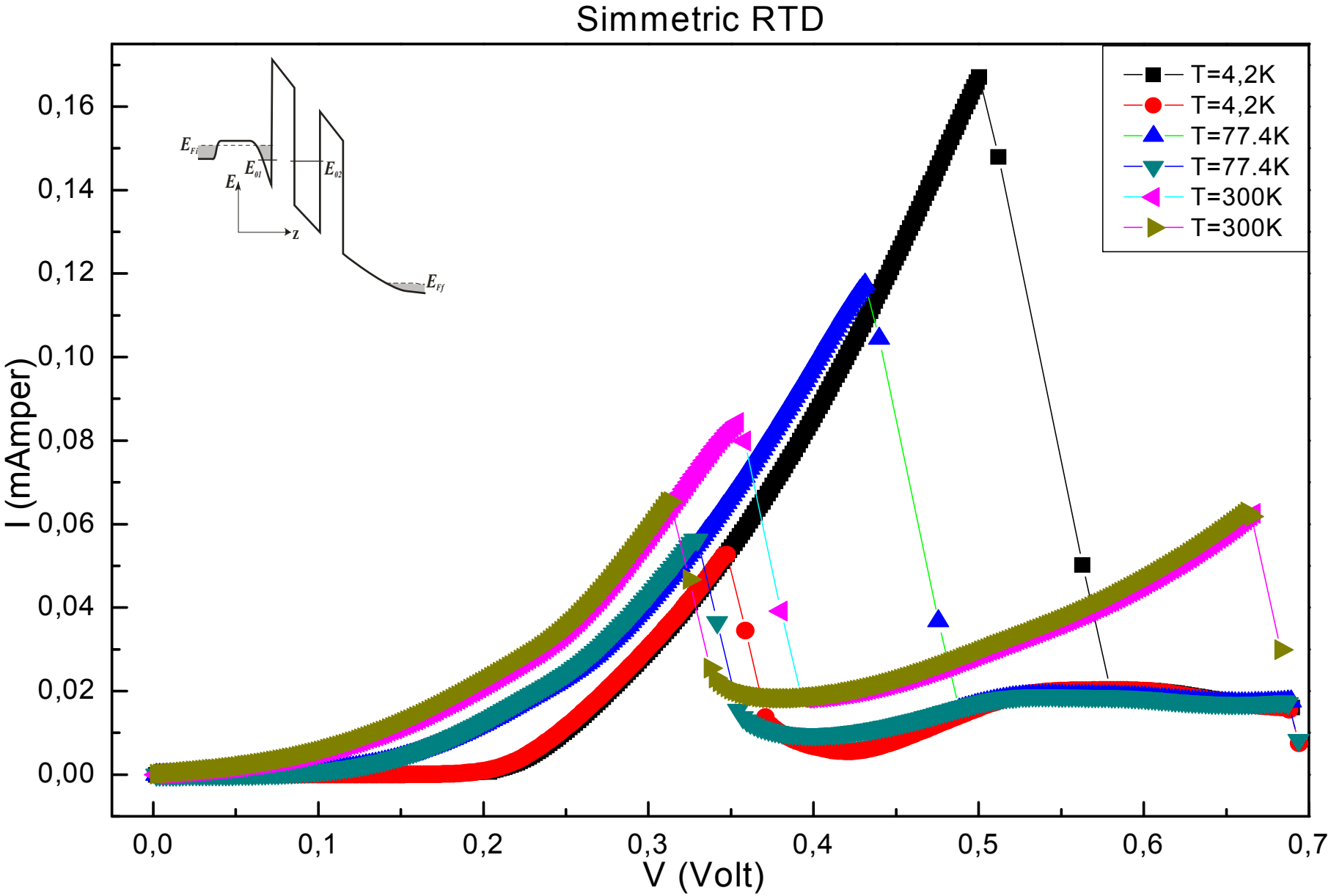
5. *Постановка эксперимента и его результаты.*

Экспериментальные данные

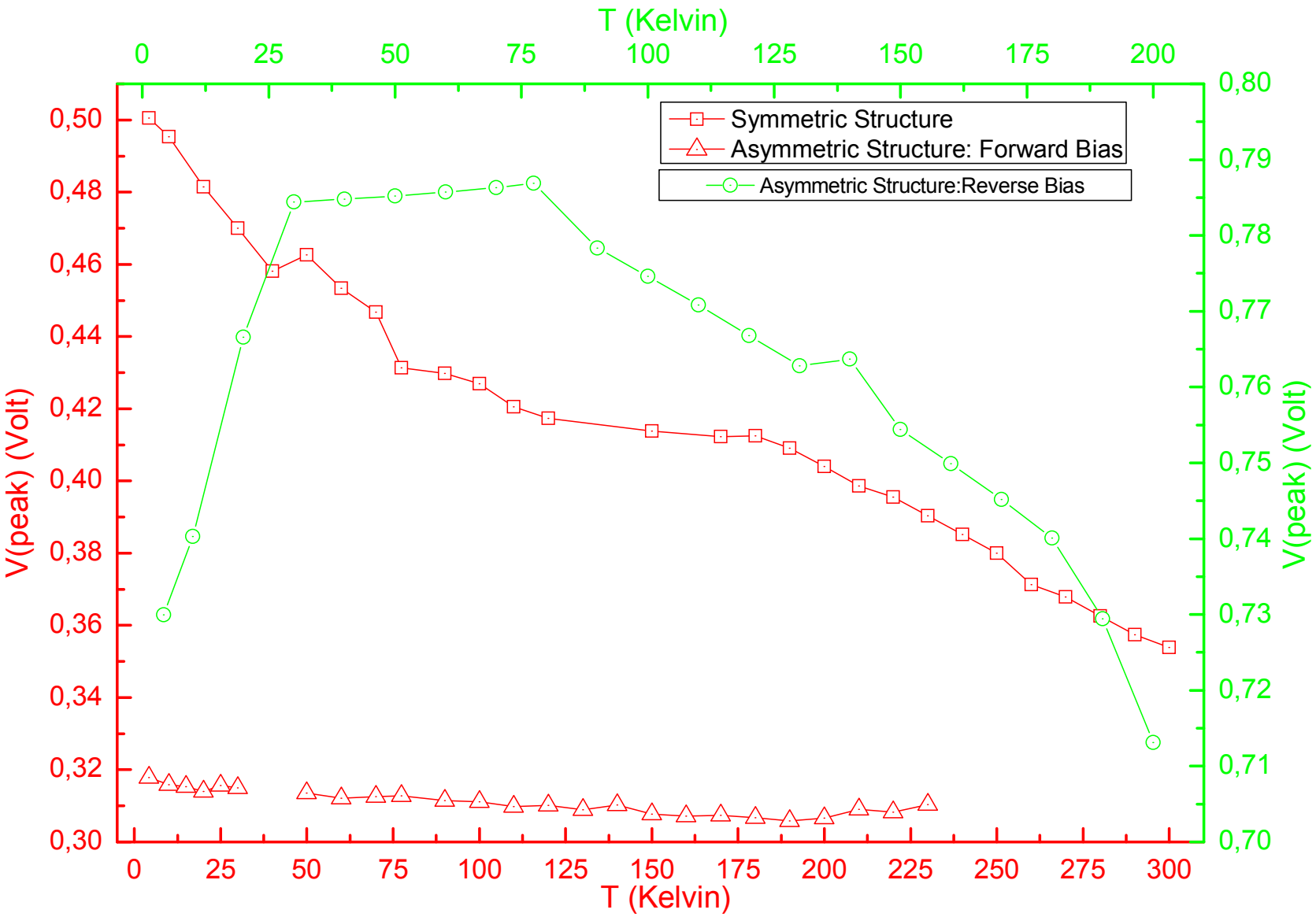


5. Постановка эксперимента и его результаты.

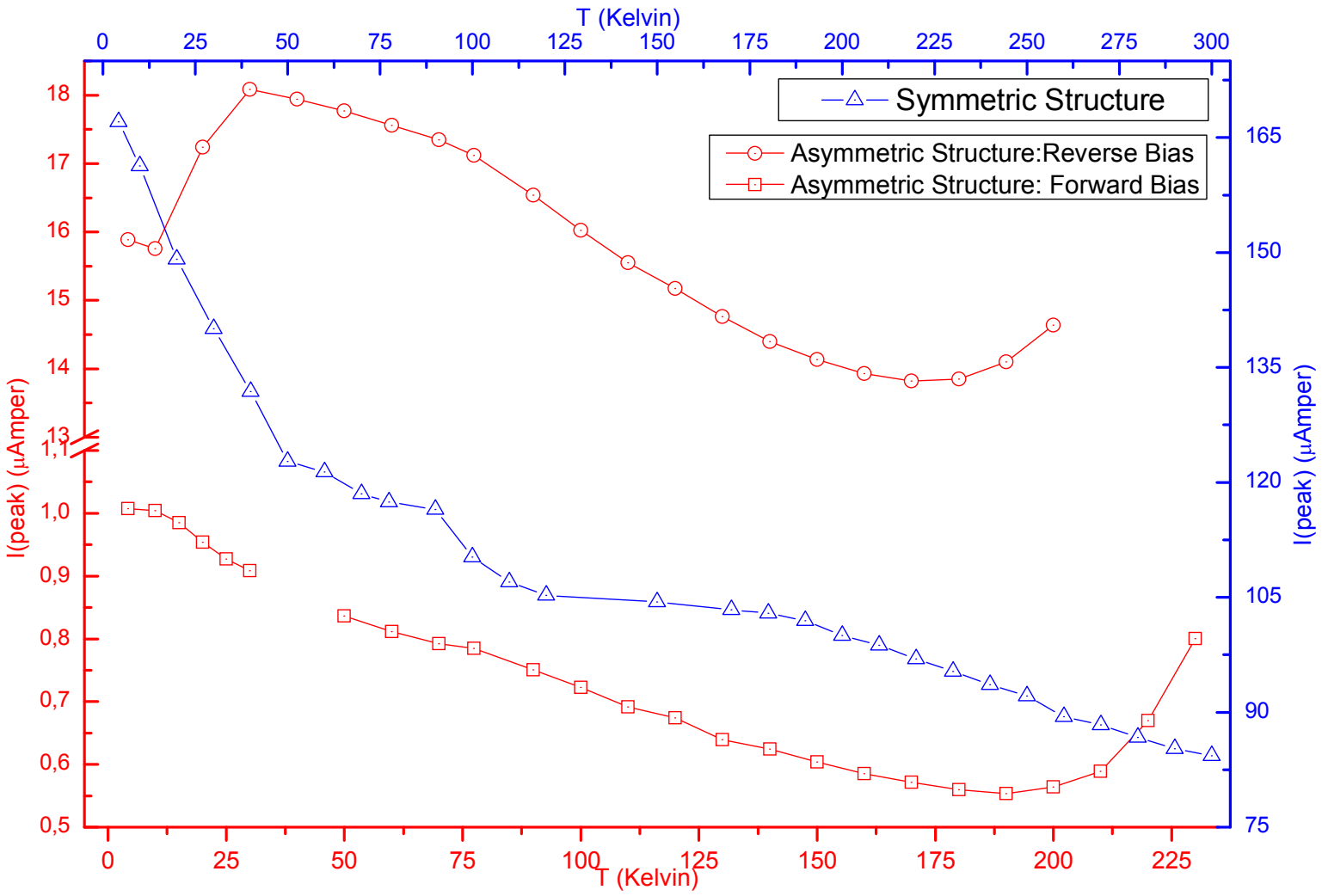
Экспериментальные данные



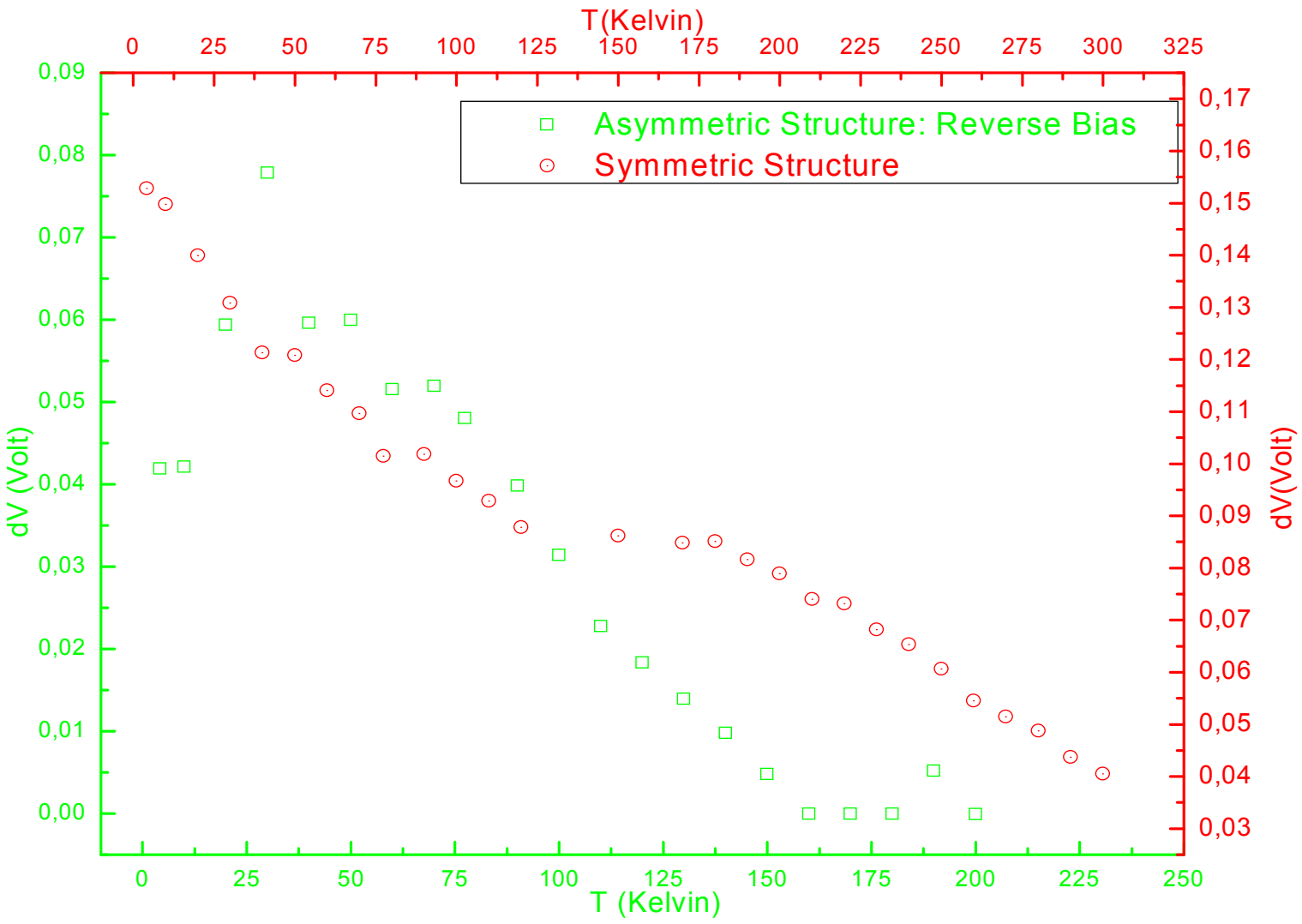
Зависимость пикового напряжения от температуры



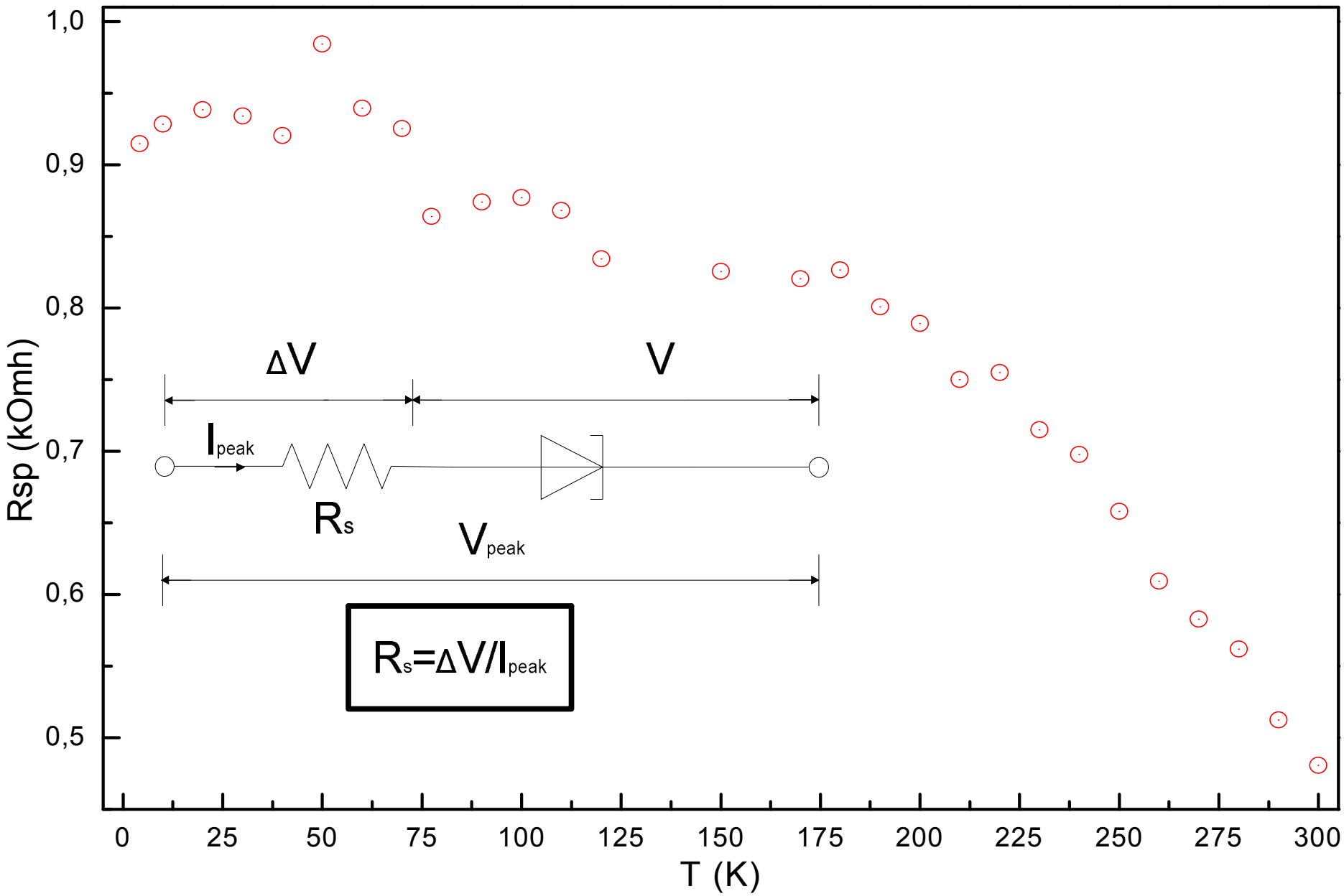
Зависимость пикового тока от температуры



Зависимость ширины гистерезиса от температуры



Зависимость сопротивления спейсера от температуры



Выводы

- Было выявлено влияние последовательного сопротивления спейсера на форму резонансного пика ВАХ при помощи температурных измерений.

- Была показана разница влияния температуры на эффект накопления заряда и эффект последовательного сопротивления.

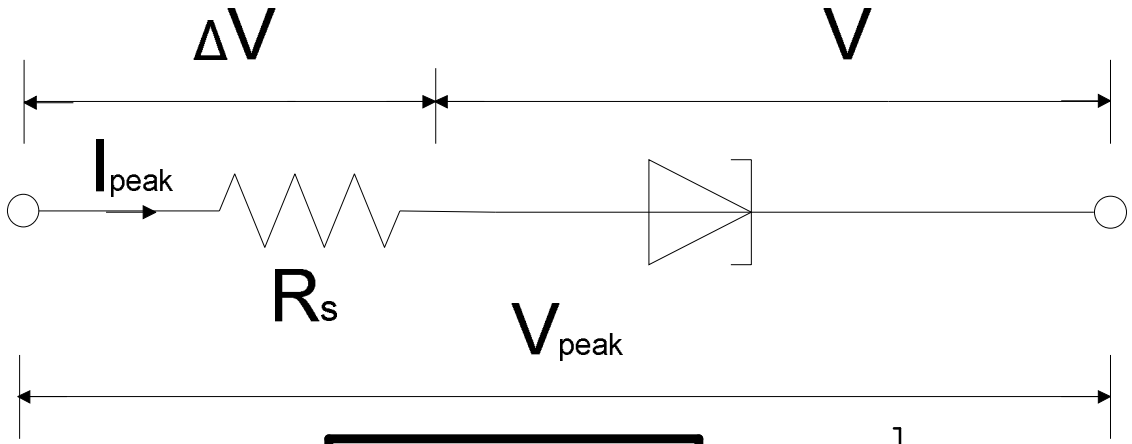
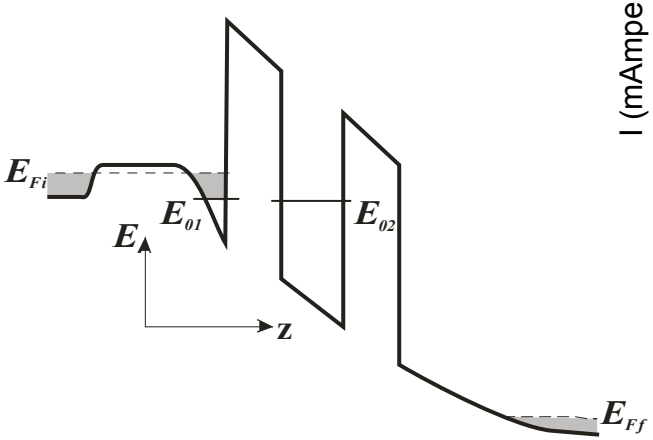
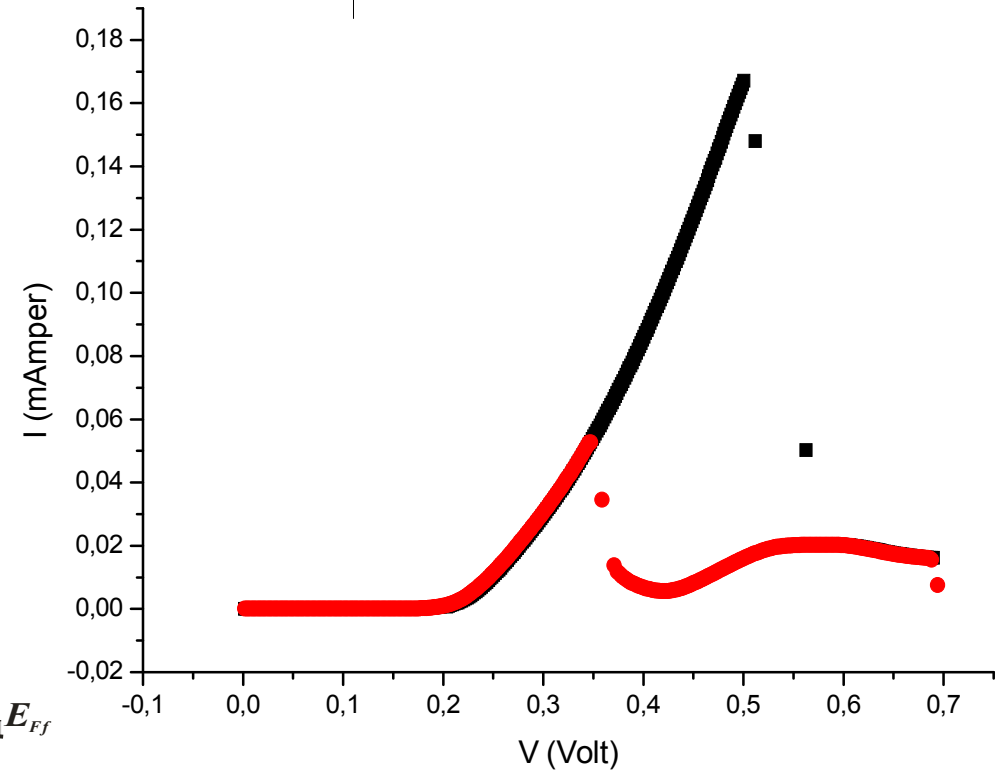
- Был рассмотрен случай, в котором почти отсутствуют оба эффекта.

- По температурным зависимостям удалось увидеть качественное различие между двумя типами резонансного туннелирования.

Спасибо за внимание!!!

☺☺☺

Сопротивление спейсера



$$R_s = \Delta V / I_{peak}$$