

**ЭФФЕКТ ИНЖЕКЦИОННОГО
МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ В
МАГНИТНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В
СПИНТРОНИКЕ**

Л.В. Луцев, А.И. Стогний, Н.Н. Новицкий

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Политехническая ул., 26, Санкт-Петербург, 194021,
Россия*

*Институт Физики твердого тела и полупроводников
НАН Беларуси, ул. П. Бровки, 19, Минск, 220072,
Беларусь*

l_lutsev@mail.ru

План изложения

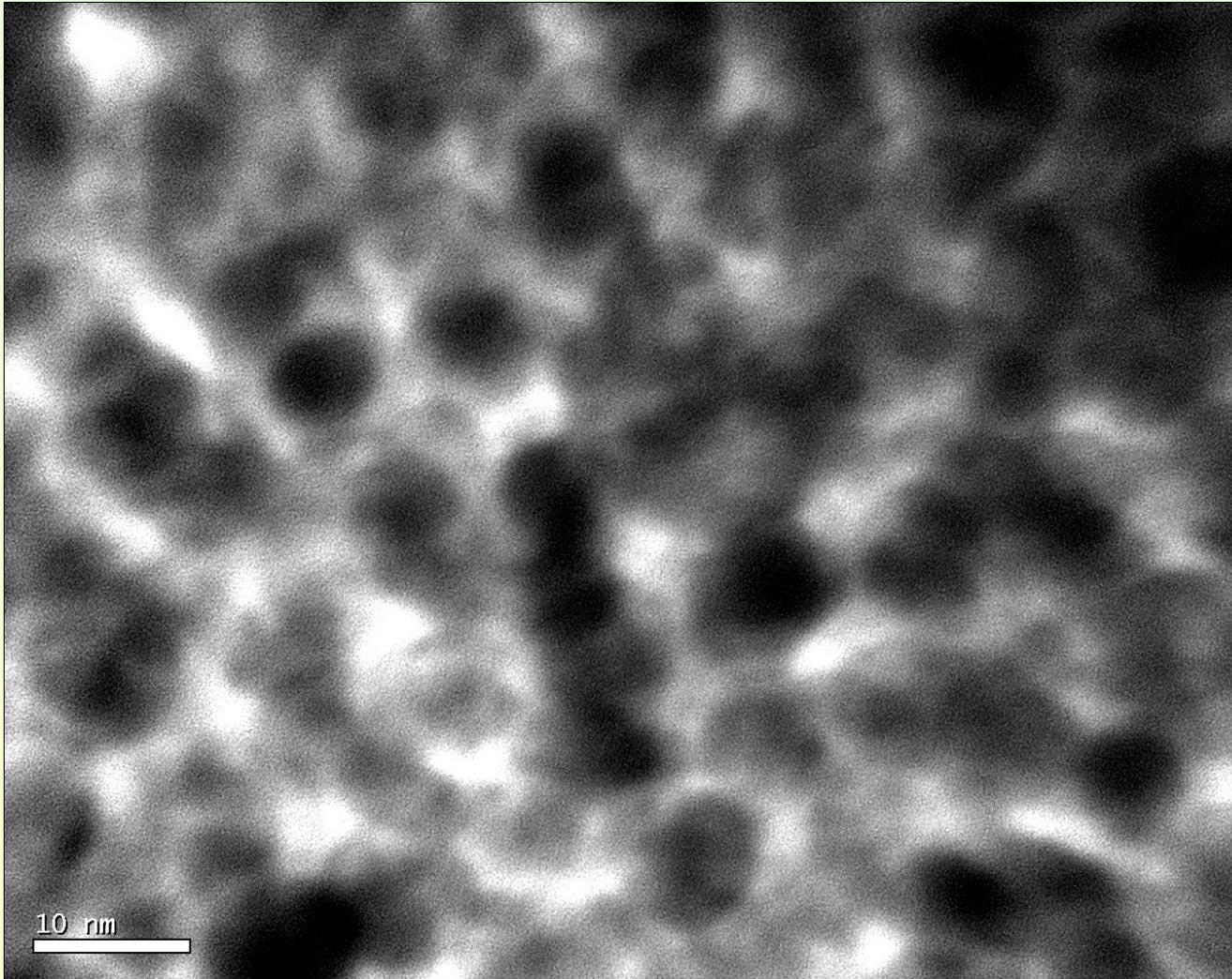
- **Магнитосопротивление и потенциальный барьер для инжектированных спин-поляризованных электронов в гетероструктурах $(\text{SiO}_2)_{100-x}\text{Co}_x/\text{GaAs}$ и $(\text{SiO}_2)_{100-x}\text{Co}_x/\text{Si}$.**
- **Разрабатываемые устройства, использующие спиновую поляризацию и эффект магнитосопротивления.**



Amorphous silicon dioxide films containing cobalt nanoparticles were grown on GaAs and Si substrates by ion beam co-sputtering of composite quartz and cobalt targets.

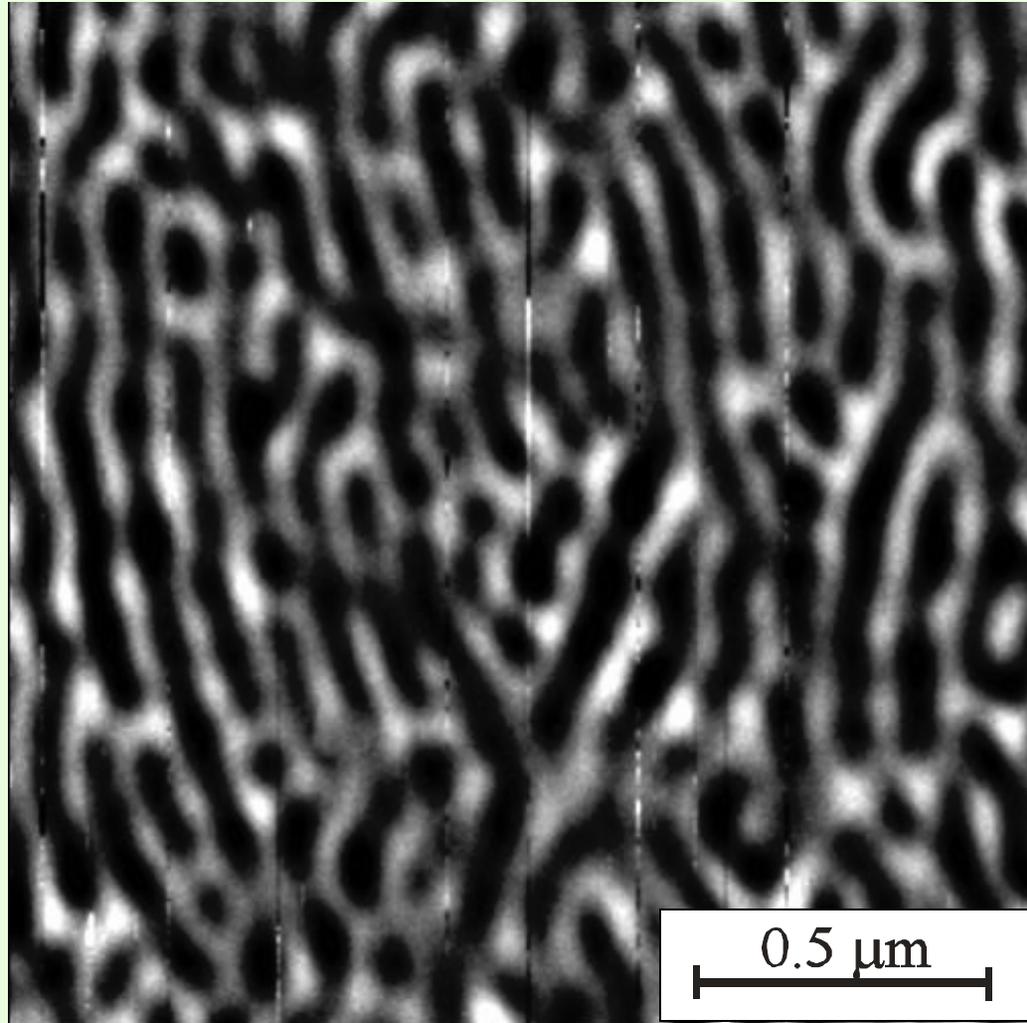
<u>Resistivity:</u>	Si – 3.7 $\Omega\cdot\text{cm}$,
	GaAs – $0.93\cdot 10^5 \Omega\cdot\text{cm}$
	SiO₂(Co) - 1.1 - $1.46\cdot 10^2 \Omega\cdot\text{cm}$
<u>Co content:</u>	38 - 82 at.%
<u>Thickness:</u>	86 - 95 nm
<u>Co particle size:</u>	2.7 - 4.4 nm

High resolution TEM image of a cut of the sample
with $x = 63$ at.%.



Domain structure.

SiO₂(Co)/GaAs with $x_{\text{Co}} = 83$ at.%, room temperature.



Магнитосопротивление

Current-voltage characteristics

SiO₂(Co)/GaAs
with the Co
content

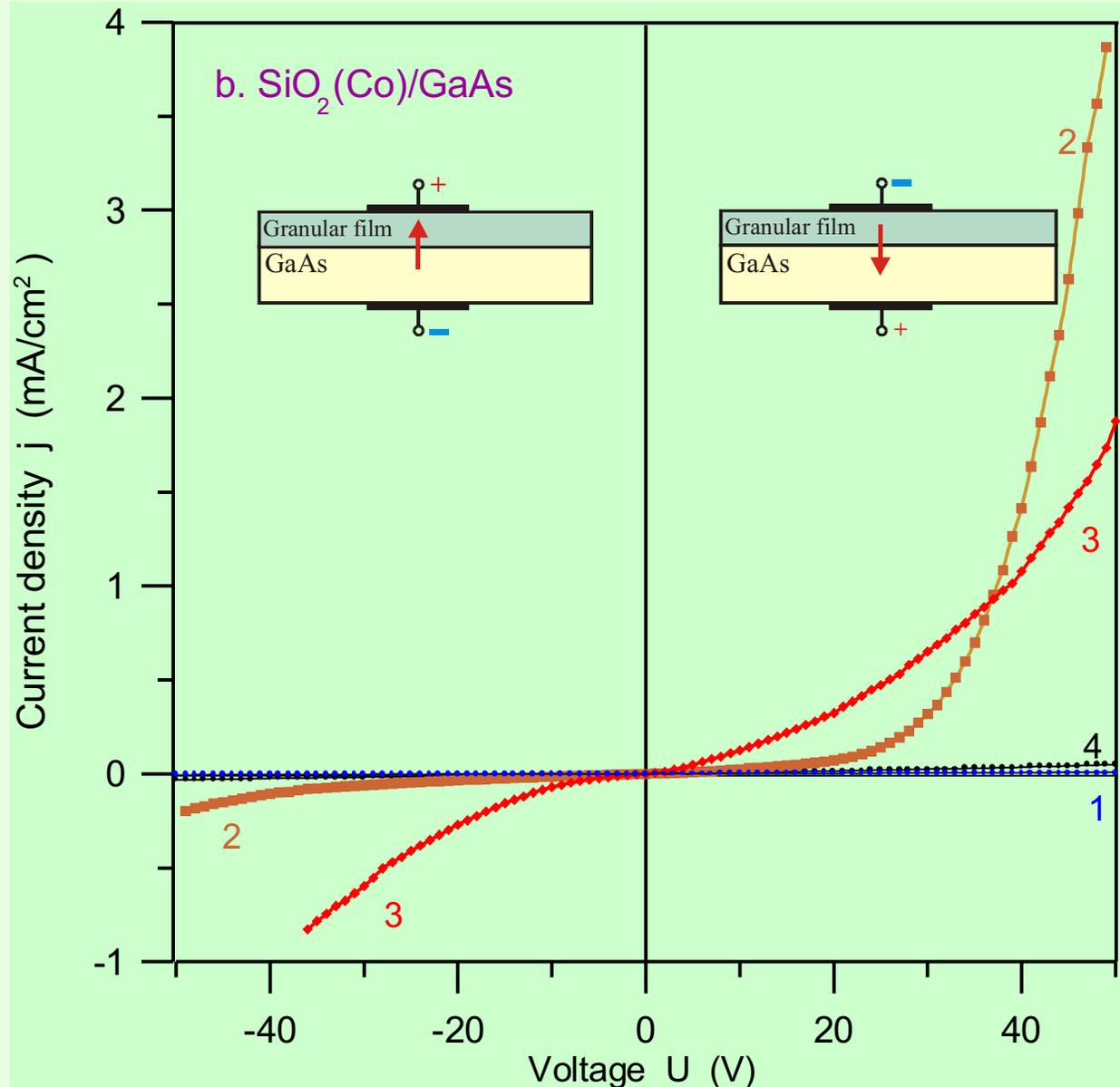
(1) 39,

(2) 60,

(3) 85,

(4) 100 at.%.

$h = 450-600$ nm



SiO₂(Co)/GaAs with
 $x_{\text{Co}} = 71 \text{ at.}\%$

$h = 95 \text{ nm}$

$T = 22^\circ \text{ C}$

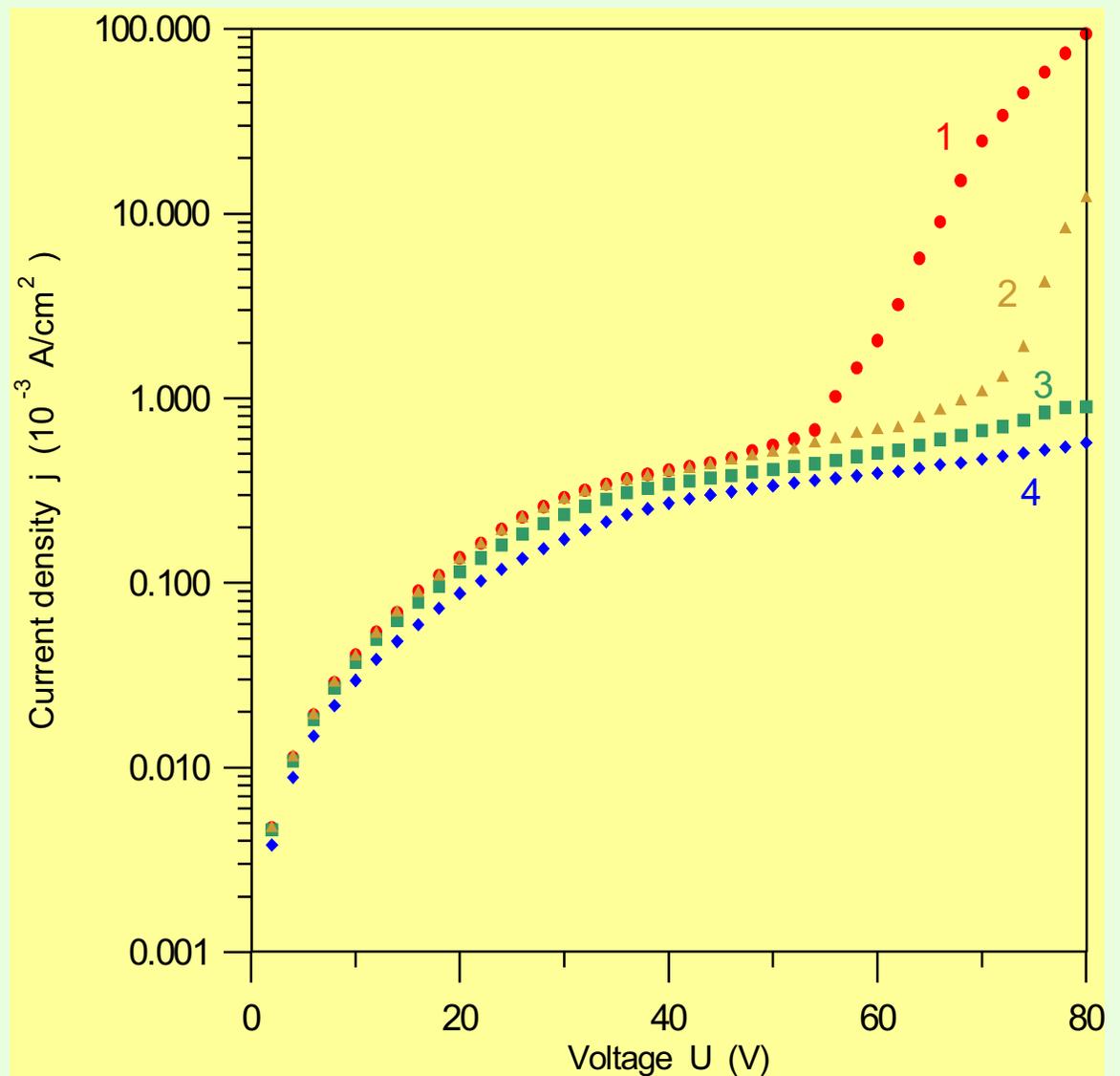
$H \parallel \text{ surface}$

1 – $H = 0$

2 – 5 kOe

3 – 10 kOe

4 – 15 kOe



$$IMR = \frac{R(H) - R_0}{R_0} = \frac{J_0 - J(H)}{J(H)}$$

SiO₂(Co)/GaAs
with $x_{Co} = 71$ at. %.

$h = 95$ nm

$T = 22^\circ$ C

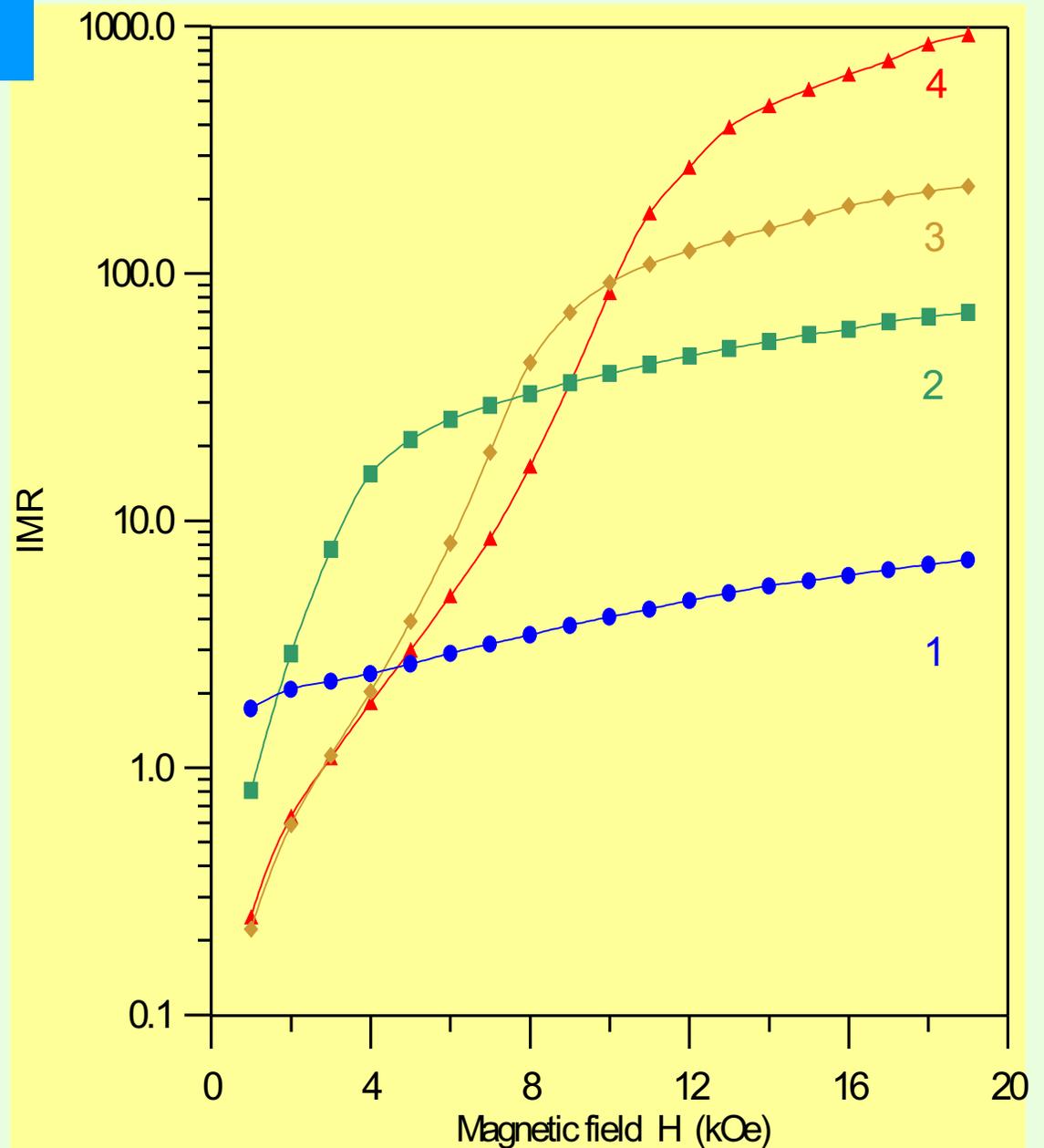
$H \parallel$ surface

1 – $U = 60$ V

2 – 70 V

3 – 80 V

4 – 90 V



SiO₂(Co)/GaAs

h = 81 - 95 nm

T = 22° C

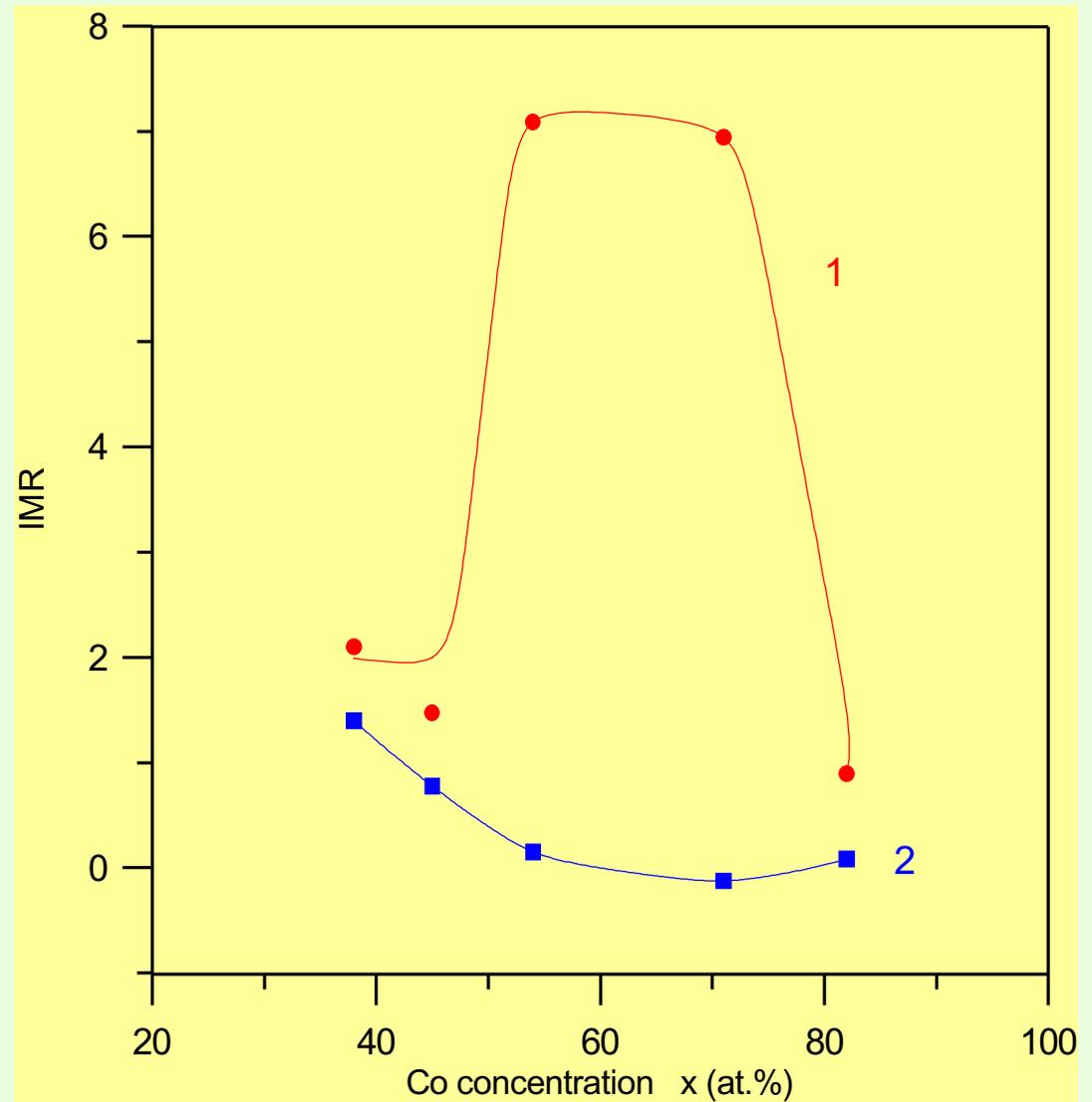
H || surface

H = 19.39 kOe

U = 60 V

1 – direct current

2 – opposite
direction of current



1 - $\text{SiO}_2(\text{Co})/\text{Si}$,

2 - $\text{SiO}_2(\text{Co})/\text{quartz}$

$h = 81 - 95$ nm (on Si)

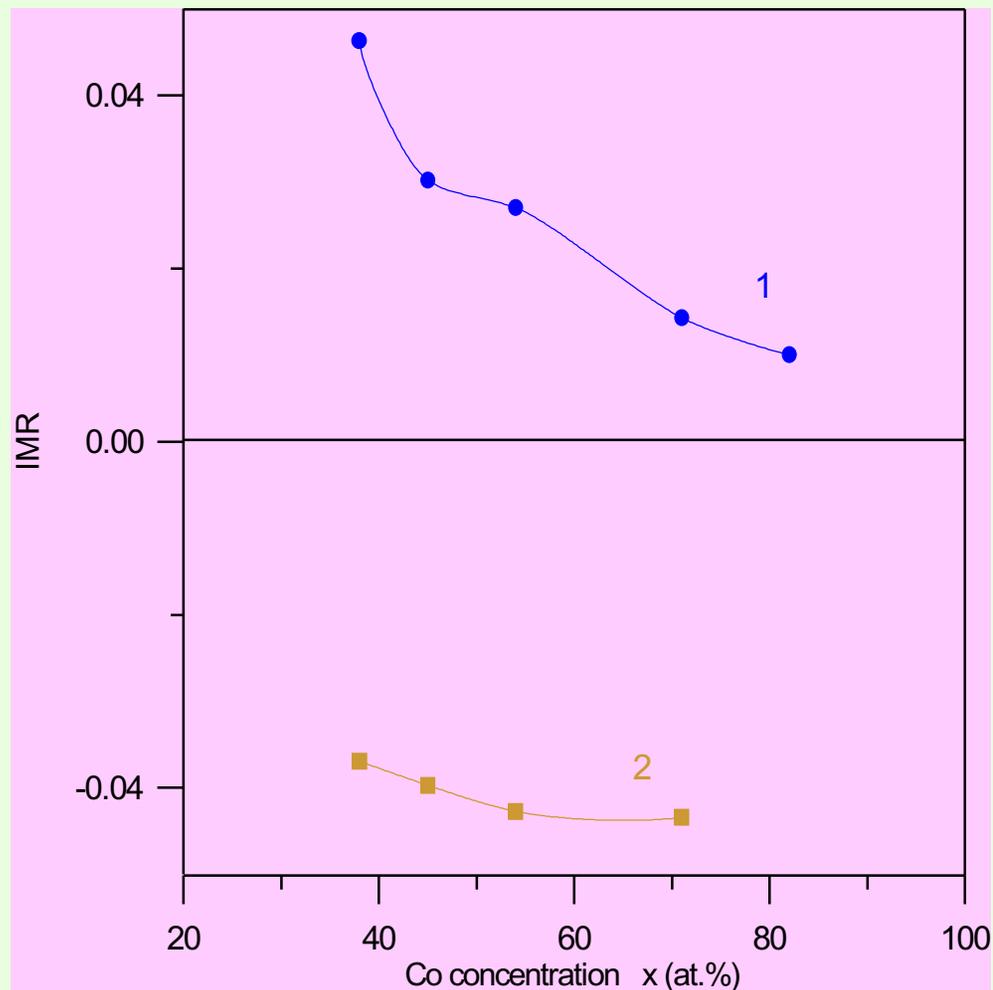
$h = 810 - 950$ nm (on quartz)

$T = 22^\circ \text{C}$

$H \parallel$ surface

$H = 19.39$ kOe

$U = 3$ V



$H = 9.98 \text{ kOe}$

$U = 60 \text{ V}$

1- $\text{SiO}_2(\text{Co})/\text{quartz}$

$x_{\text{Co}} = 38 \text{ at.}\%$

$h = 860 \text{ nm}$

2- $\text{SiO}_2(\text{Co})/\text{quartz}$

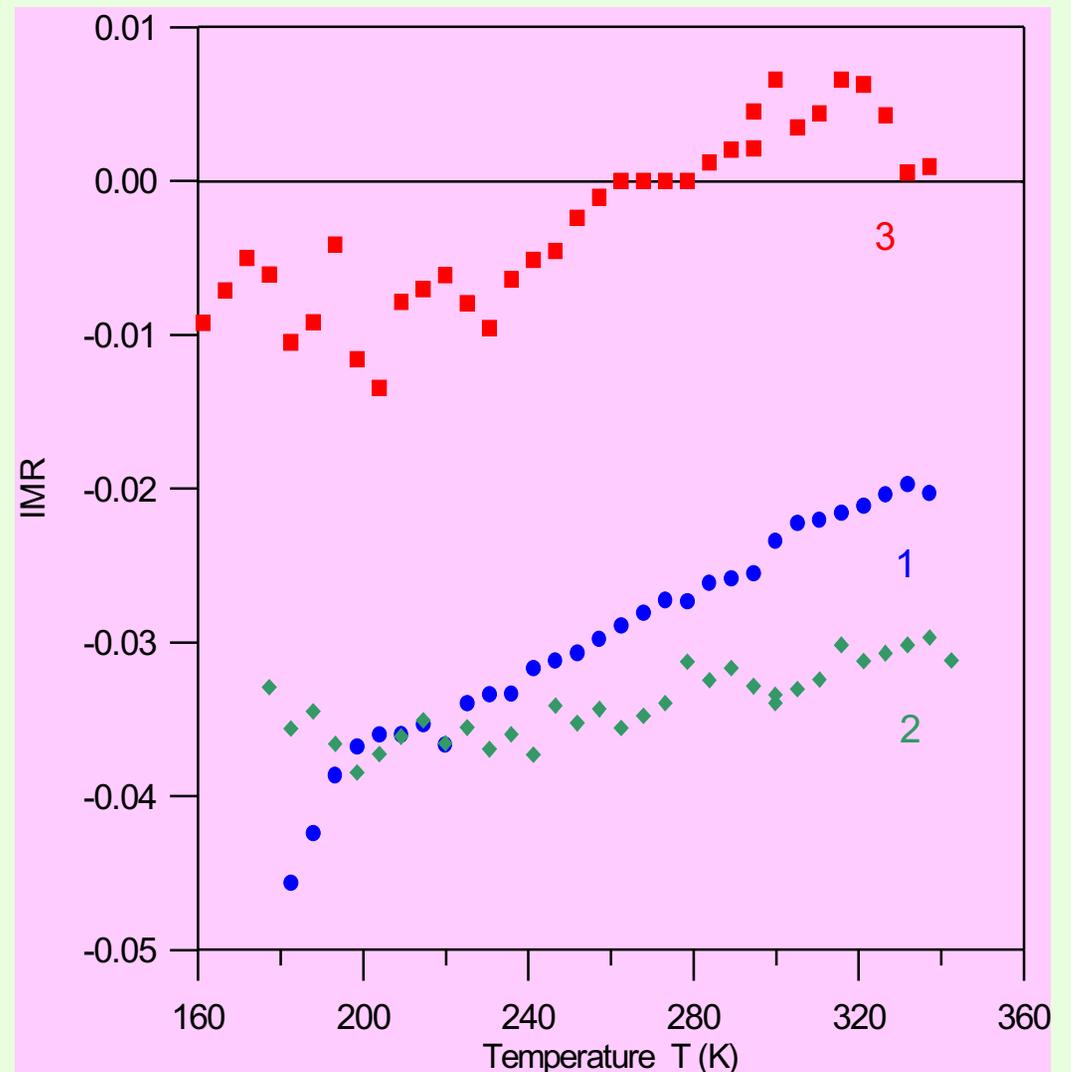
$x_{\text{Co}} = 71 \text{ at.}\%$

$h = 950 \text{ nm}$

3- $\text{SiO}_2(\text{Co})/\text{Si}$

$x_{\text{Co}} = 71 \text{ at.}\%$

$h = 95 \text{ nm}$



$\text{SiO}_2(\text{Co})/\text{GaAs}$ with $x_{\text{Co}} = 71$ at. %.

$h = 95$ nm

$H \parallel$ surface

$H = 9.98$ kOe

1 - $U = 40$ V

2 - 50 V

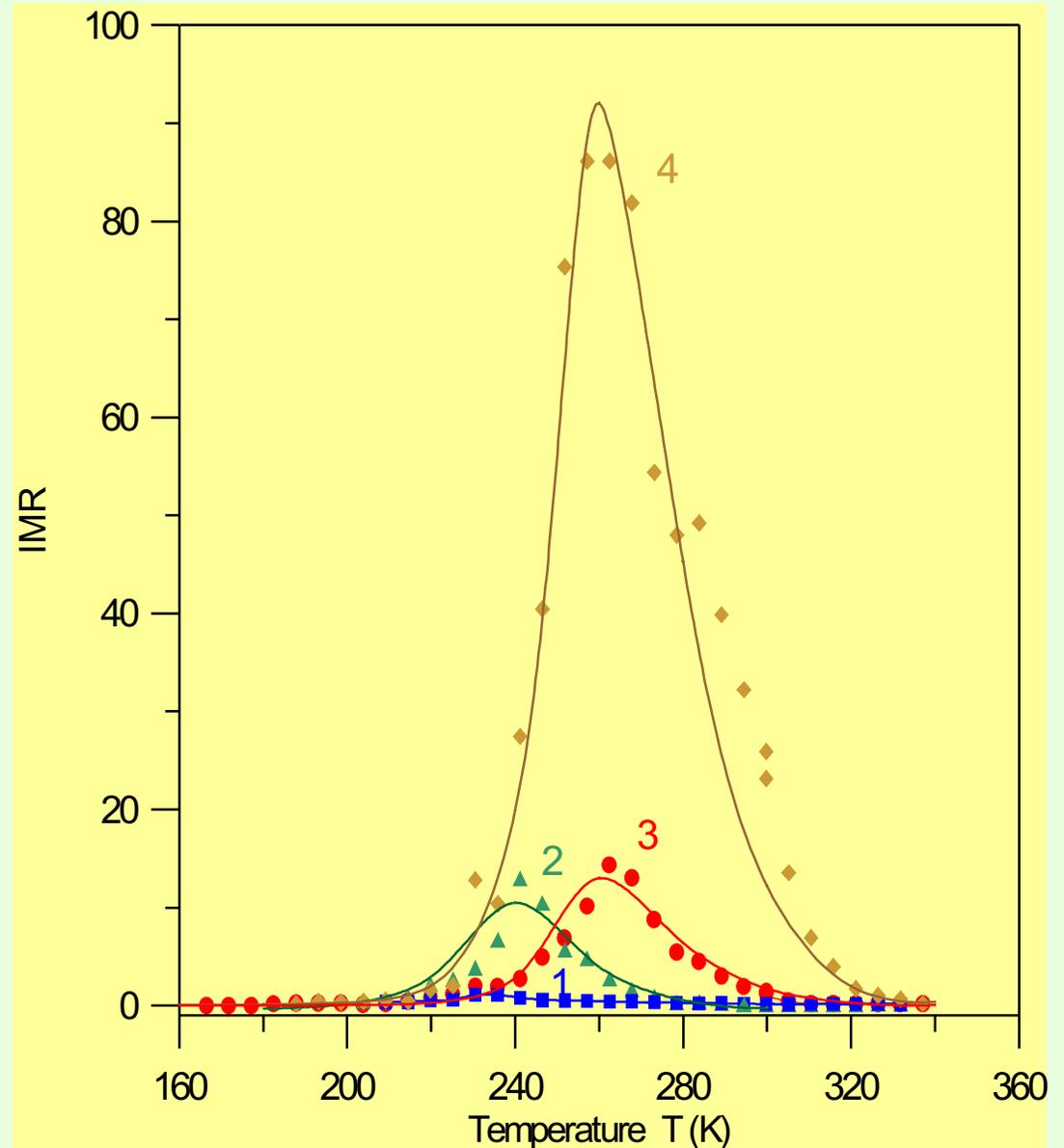
3 - 60 V

4 - 70 V

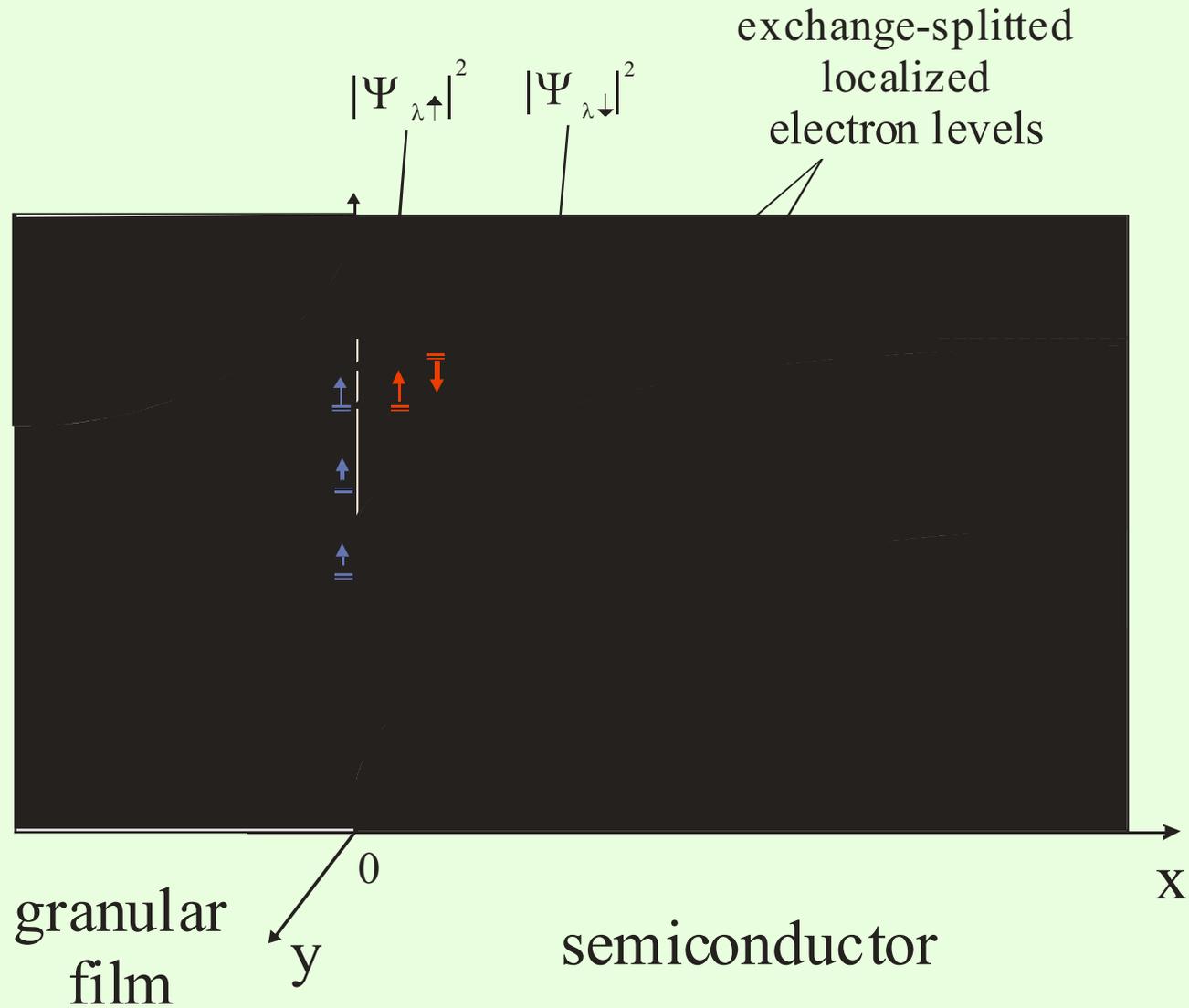
$\Delta\mu = (1) 254$ meV,

(2) 250, (3) 240,

(4) 240 meV



Потенциальный барьер для инжектированных спин-поляризованных электронов. Теоретическая модель.



Effective exchange interaction

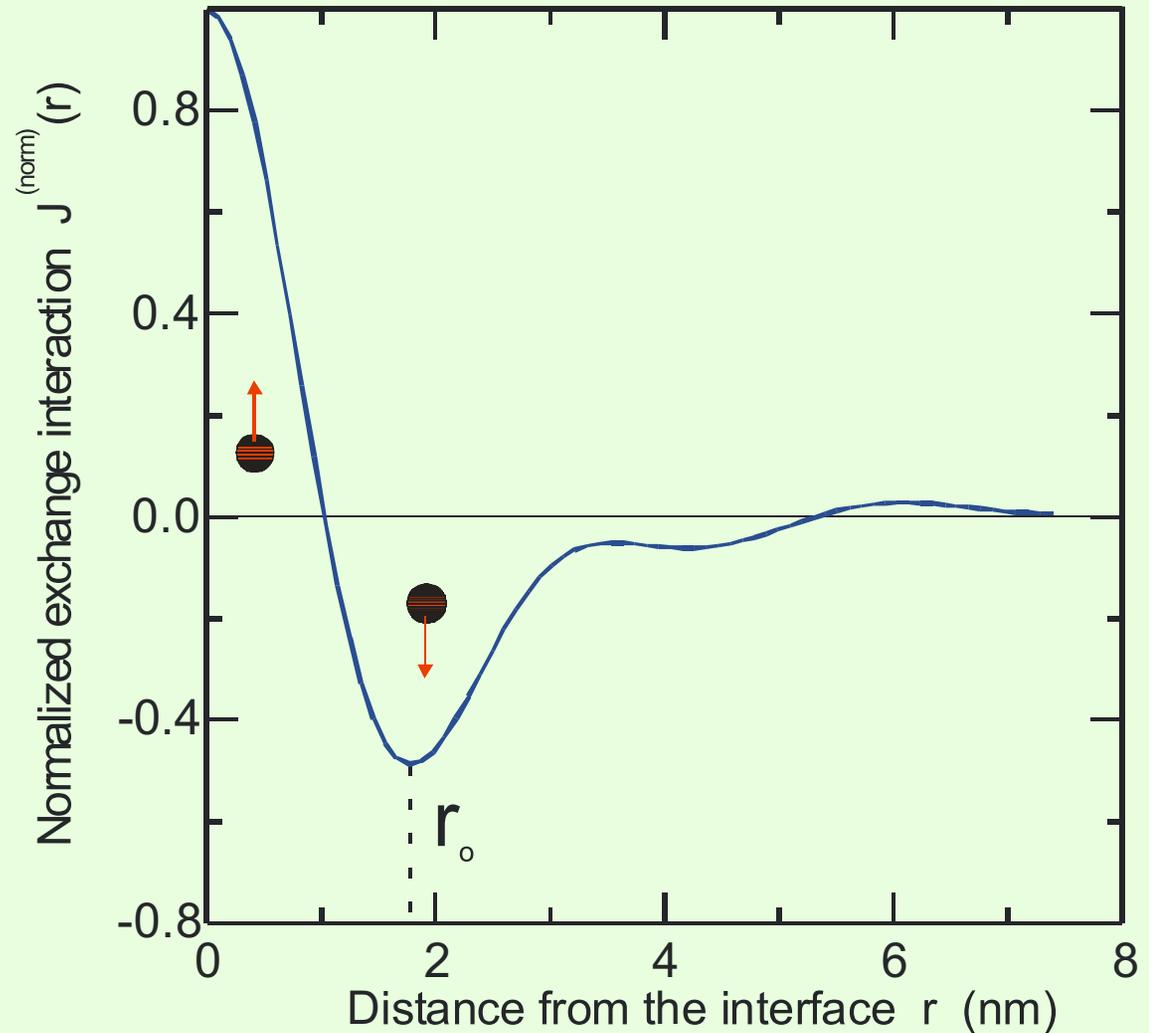
$$\Delta\mu = 150 \text{ meV}$$

$$n_0 = 1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$n = 1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

at the interface

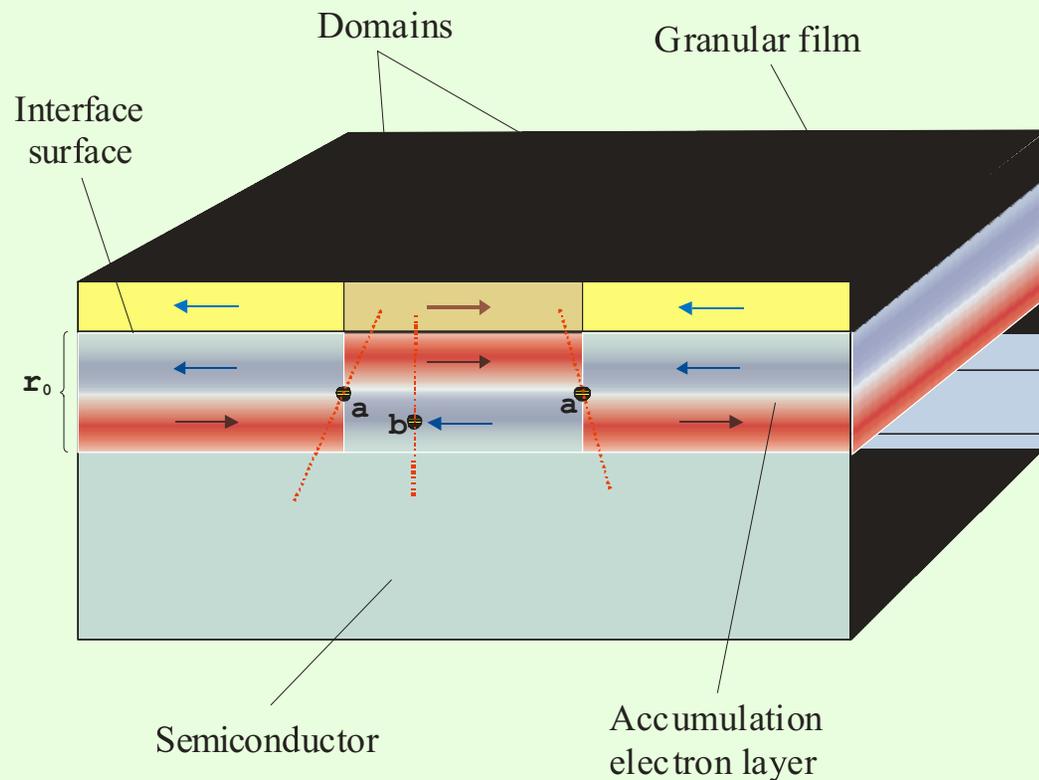


IMR and trajectories of injected electrons

$$IMR = \frac{n_a v_a - n_b v_b}{n_b v_b} = \frac{v_a}{v_b} \exp[(e\delta U_{ab} + W) / kT] - 1$$

a – electron trajectories at $H = 0$.

b - trajectories at $H \neq 0$.



SiO₂(Co)/GaAs
with $x_{\text{Co}} = 71$ at. %.

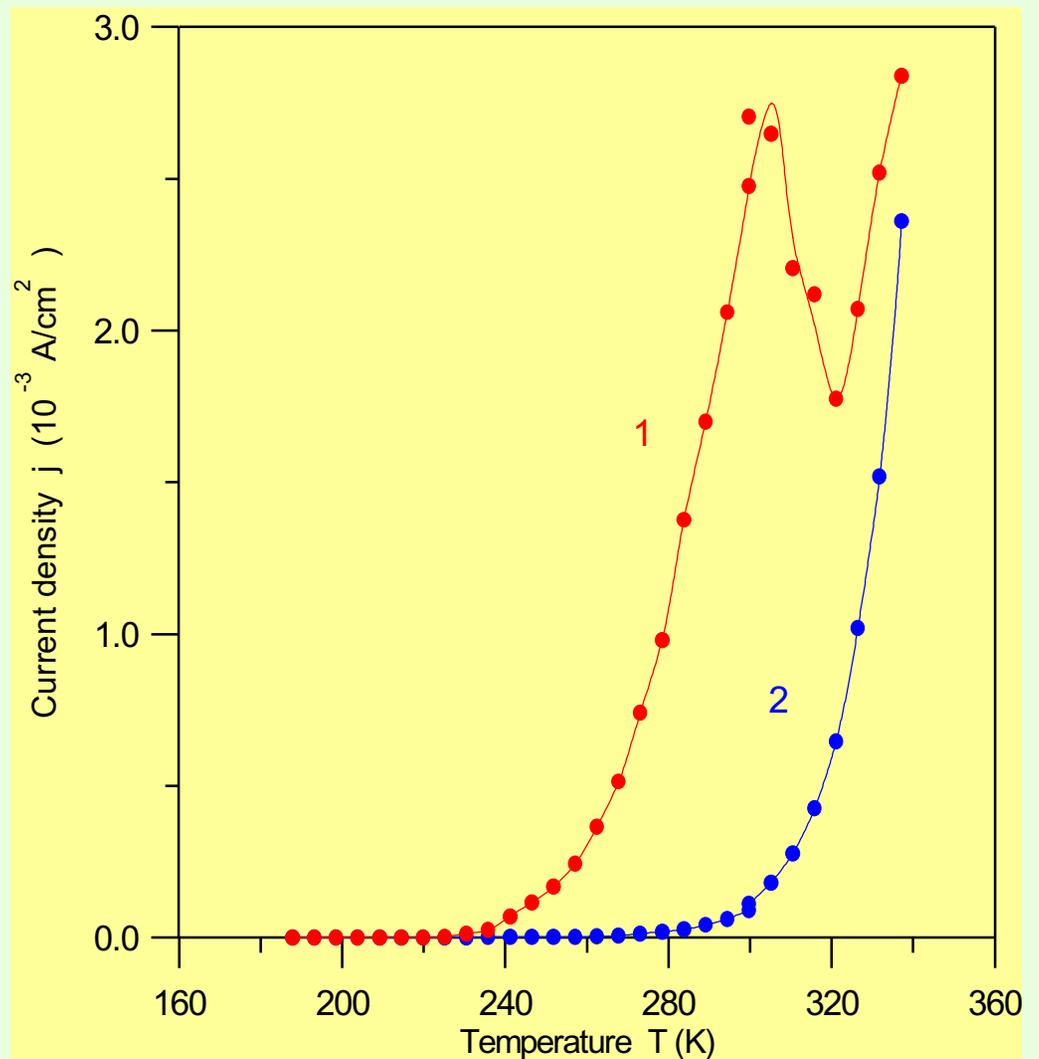
$h = 95$ nm

H \parallel surface

U = 70 V

1 - H = 0

2 - H = 10.11 kOe



SiO₂(Co)/GaAs with $x_{\text{Co}} = 38$ at. %.

$h = 86$ nm

$H \parallel$ surface

$H = 9.94$ kOe

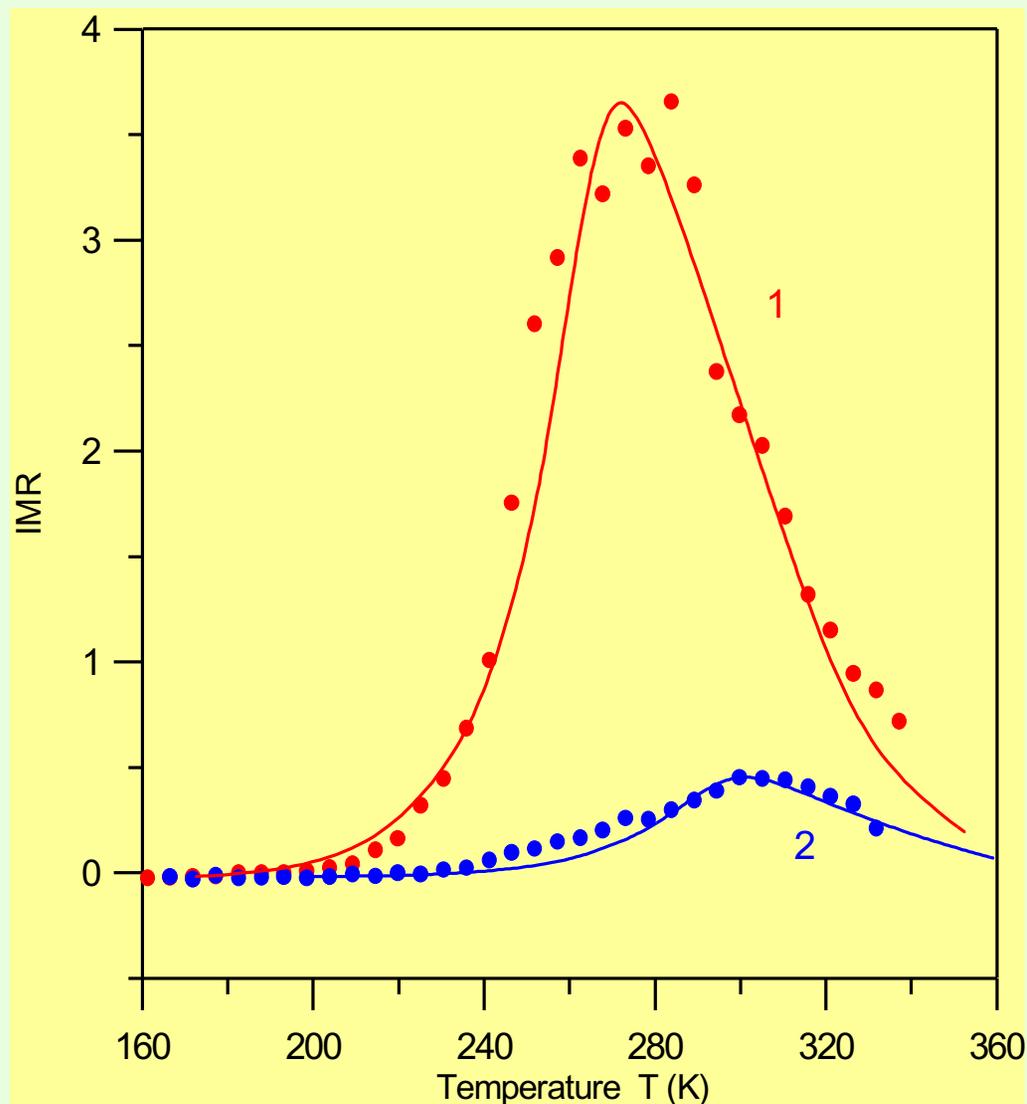
$U = 60$ V

1 – direct current

2 – opposite direction of current

$\Delta\mu = (1)$ 233 meV,

(2) 221 meV

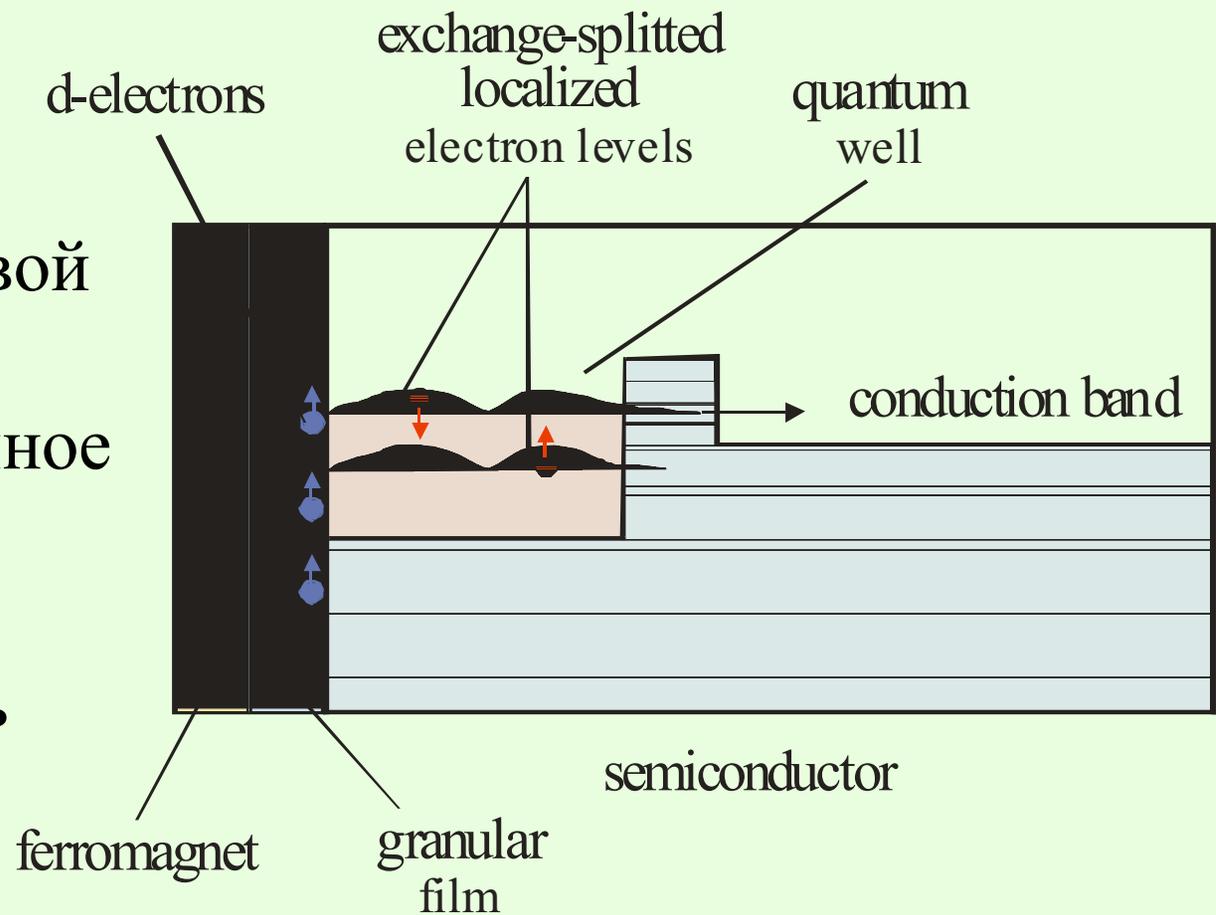


**Разрабатываемые устройства,
использующие сплюснутую поляризацию
и эффект магнитосопротивления**

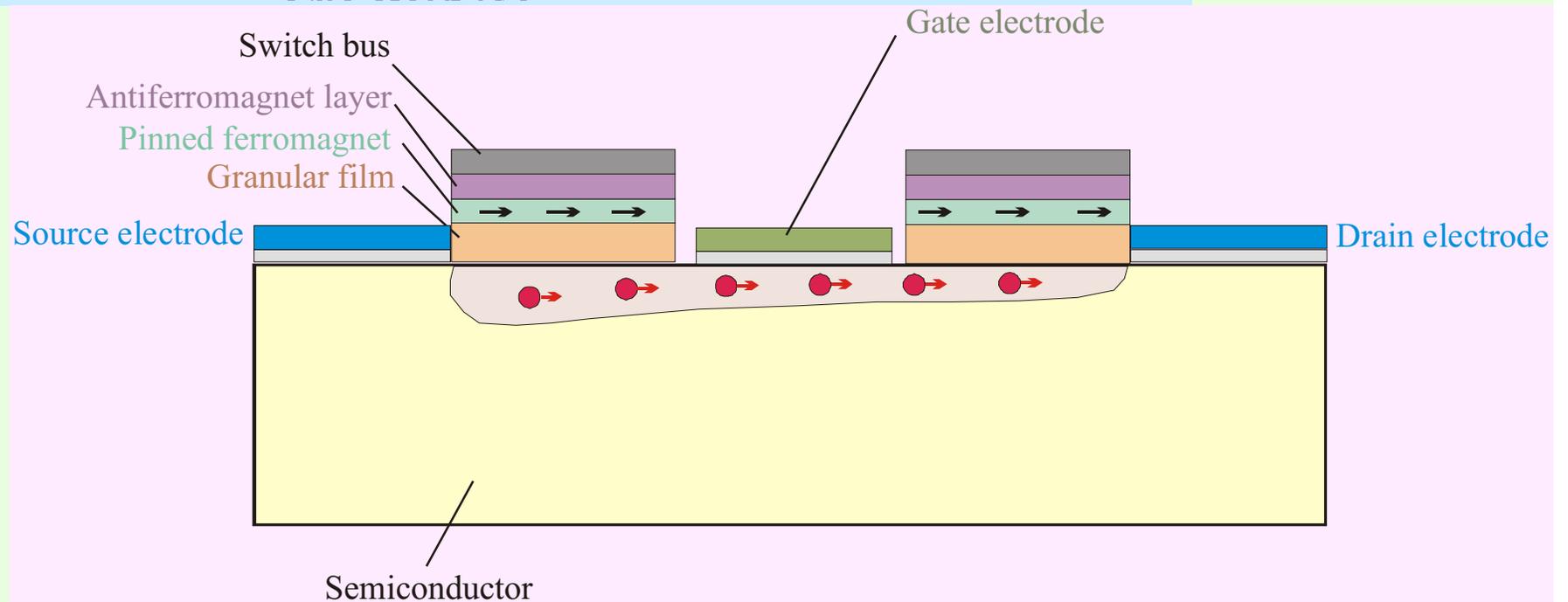
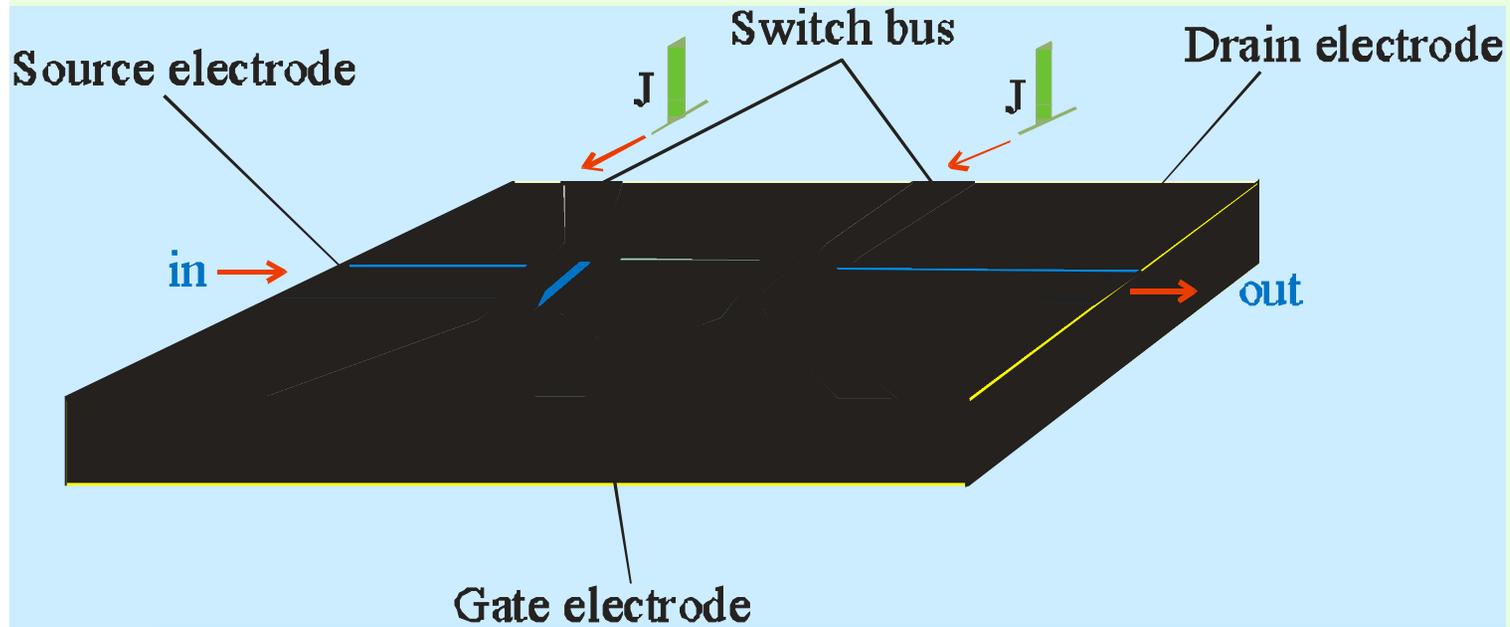
Спиновые инжекторы в спинтронике

Необходимые условия:

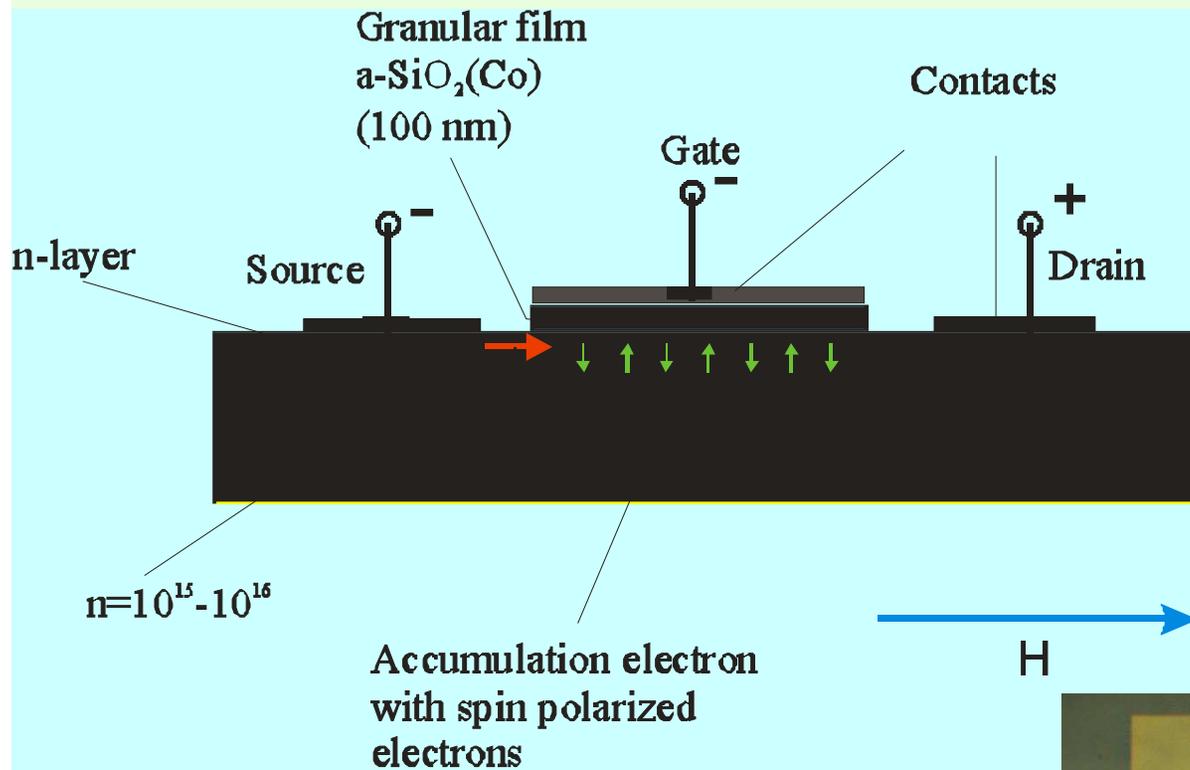
- Наличие квантовой ямы
- Одно расщепленное локализованное состояние
- Высокая степень обменного расщепления



Field-effect transistor with spin memory

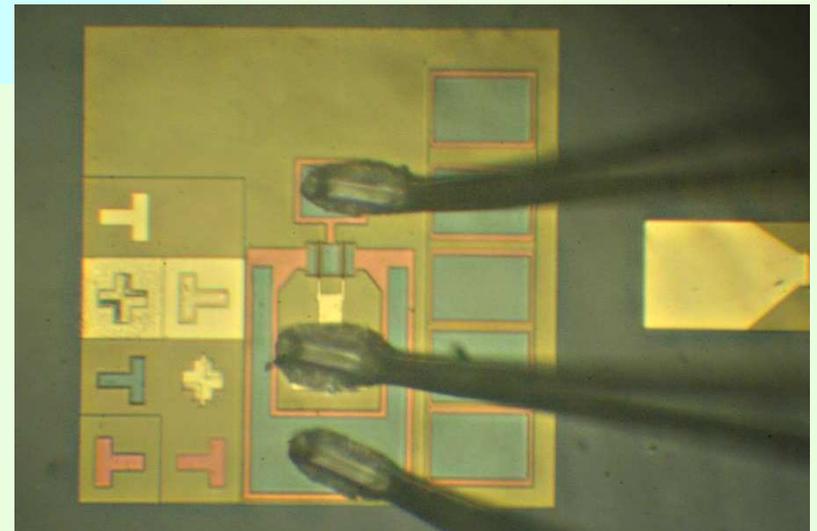


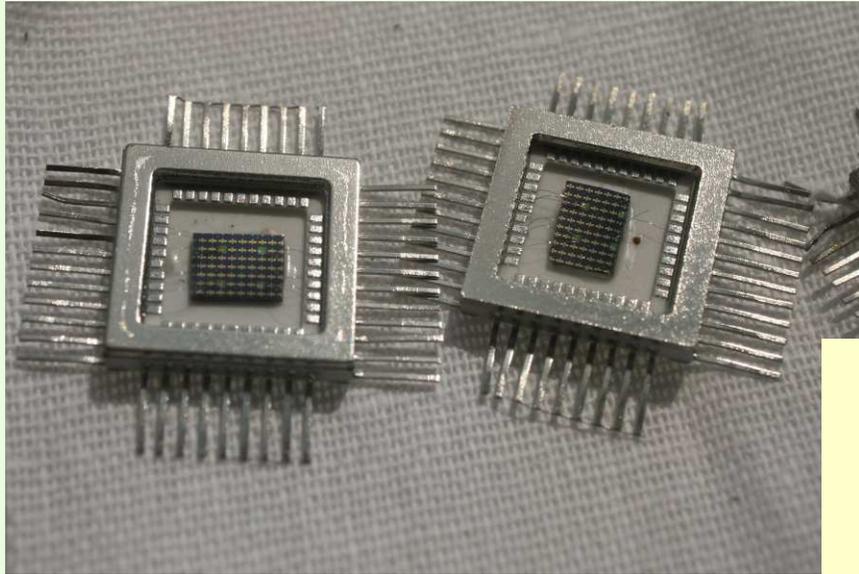
Spintronic AlGaAs/GaAs HEMT structure.



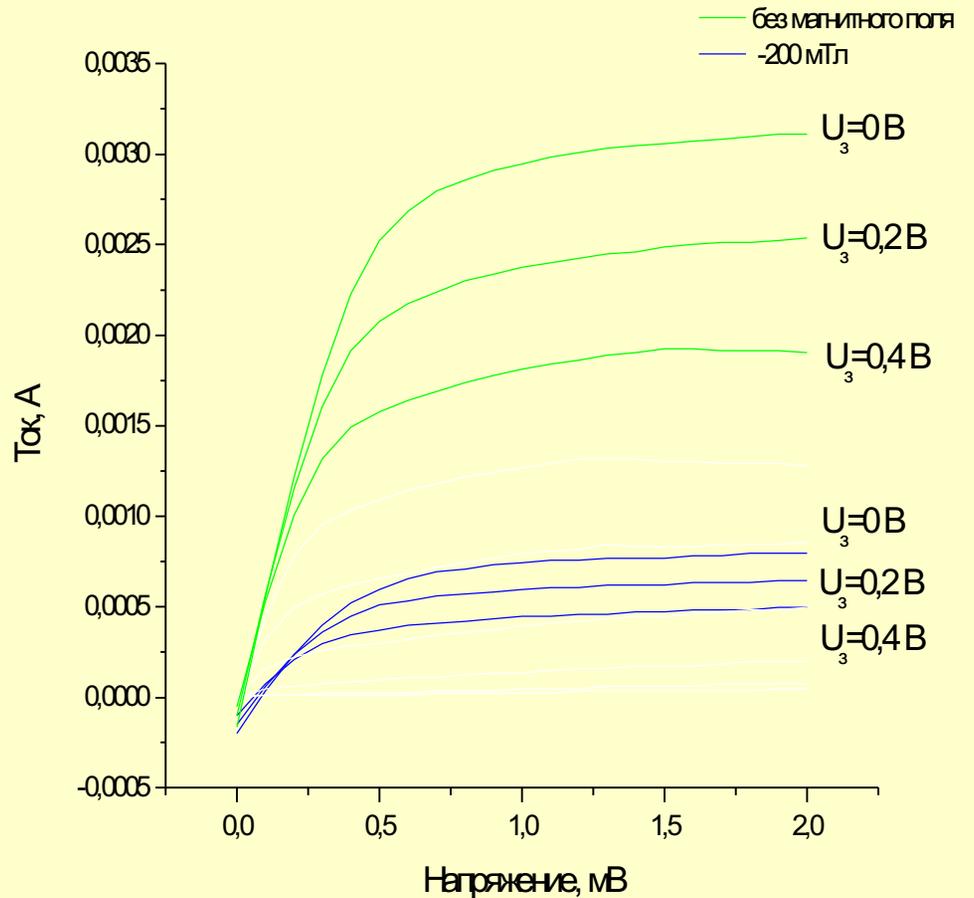
Gate electrode

$\text{Co}_{0,6}(\text{SiO}_x)_{0,4}$ (40 nm) /
Au (400 nm).



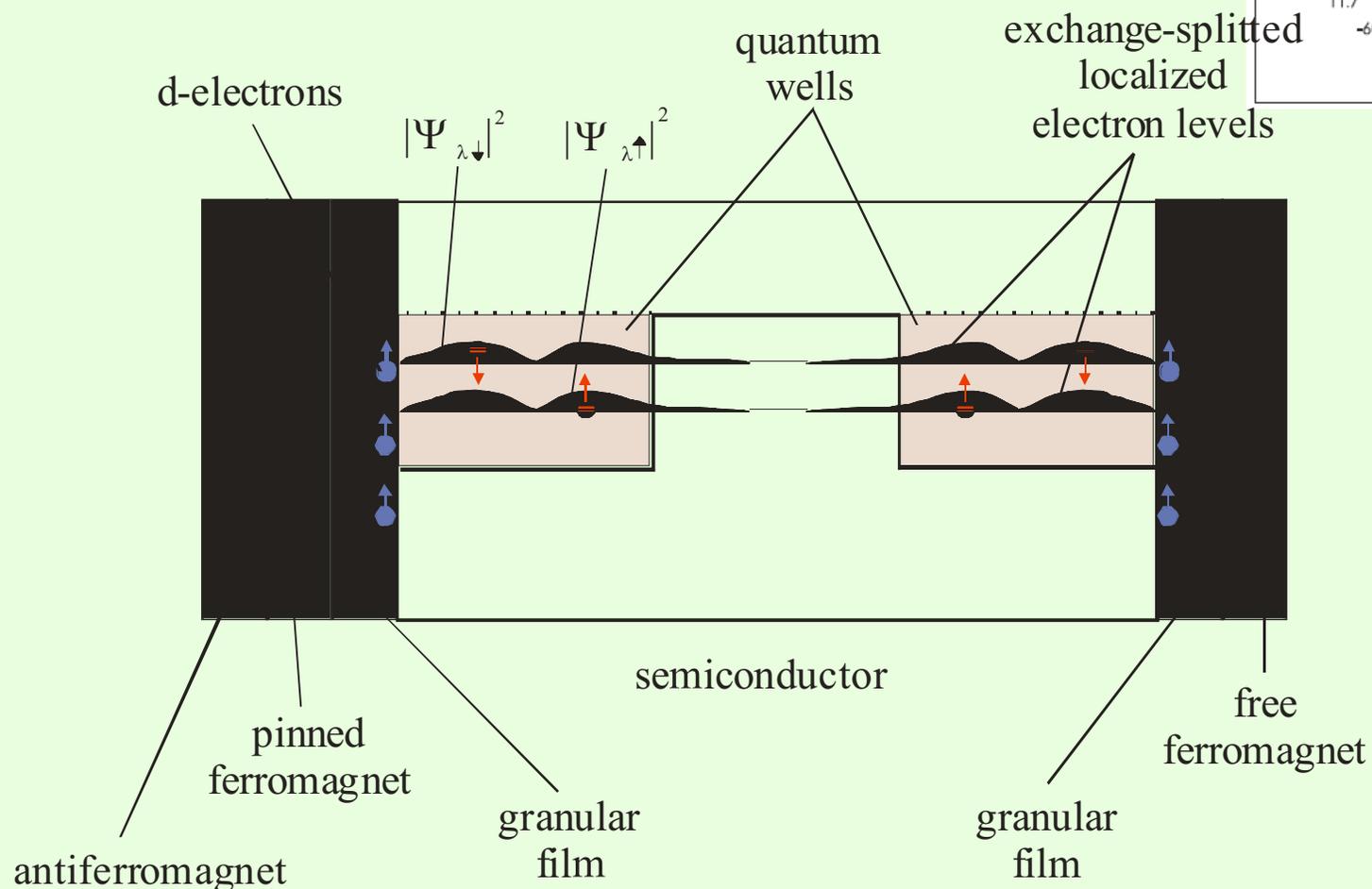
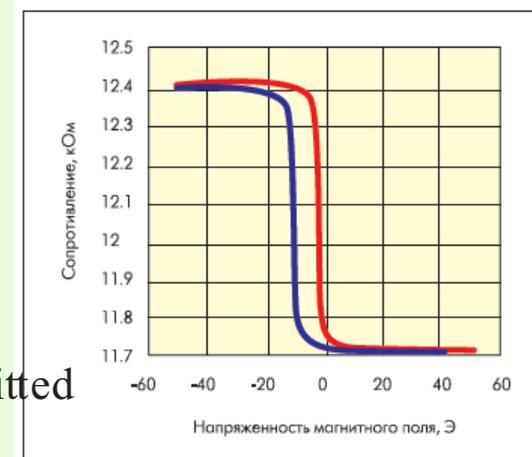


Current-voltage characteristics of the room temperature spintronic AlGaAs/GaAs HEMT structure at different magnetic fields.

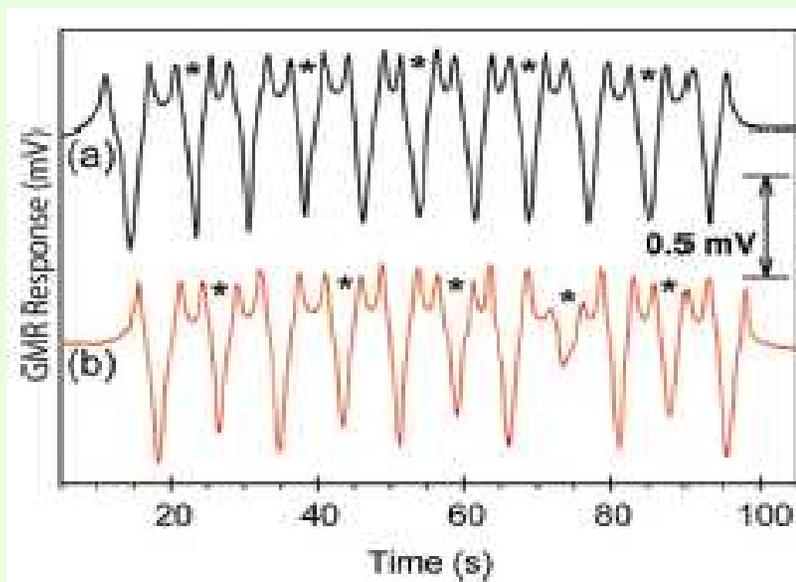
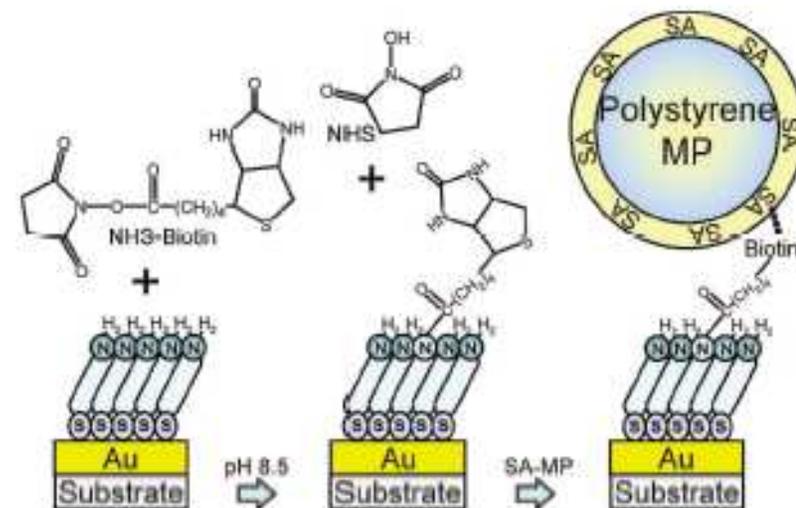
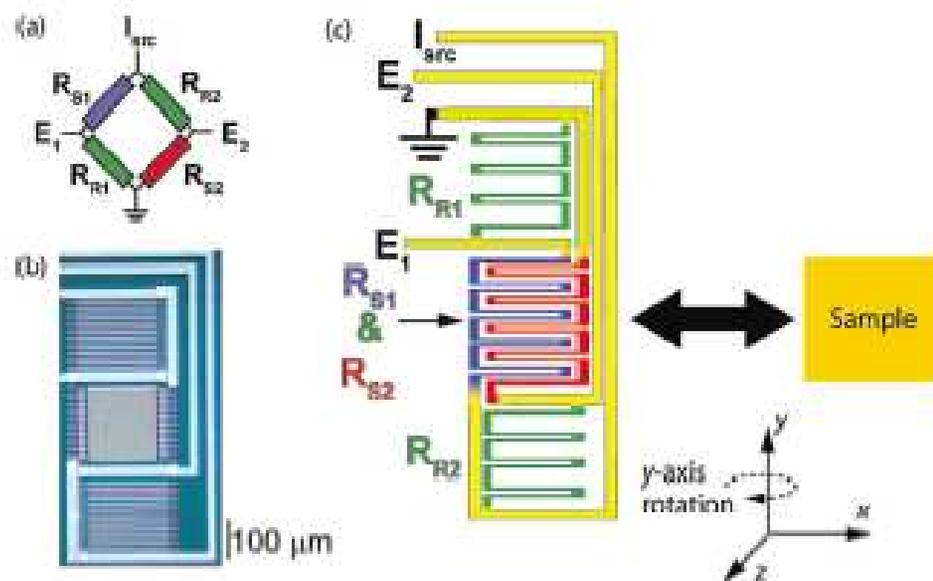


Датчики магнитного поля

Структура спинового вентиля



Датчики для биоанализа



J. Nordling et al. *Analytical Chemistry*, **80** (21), 7930 (2008)

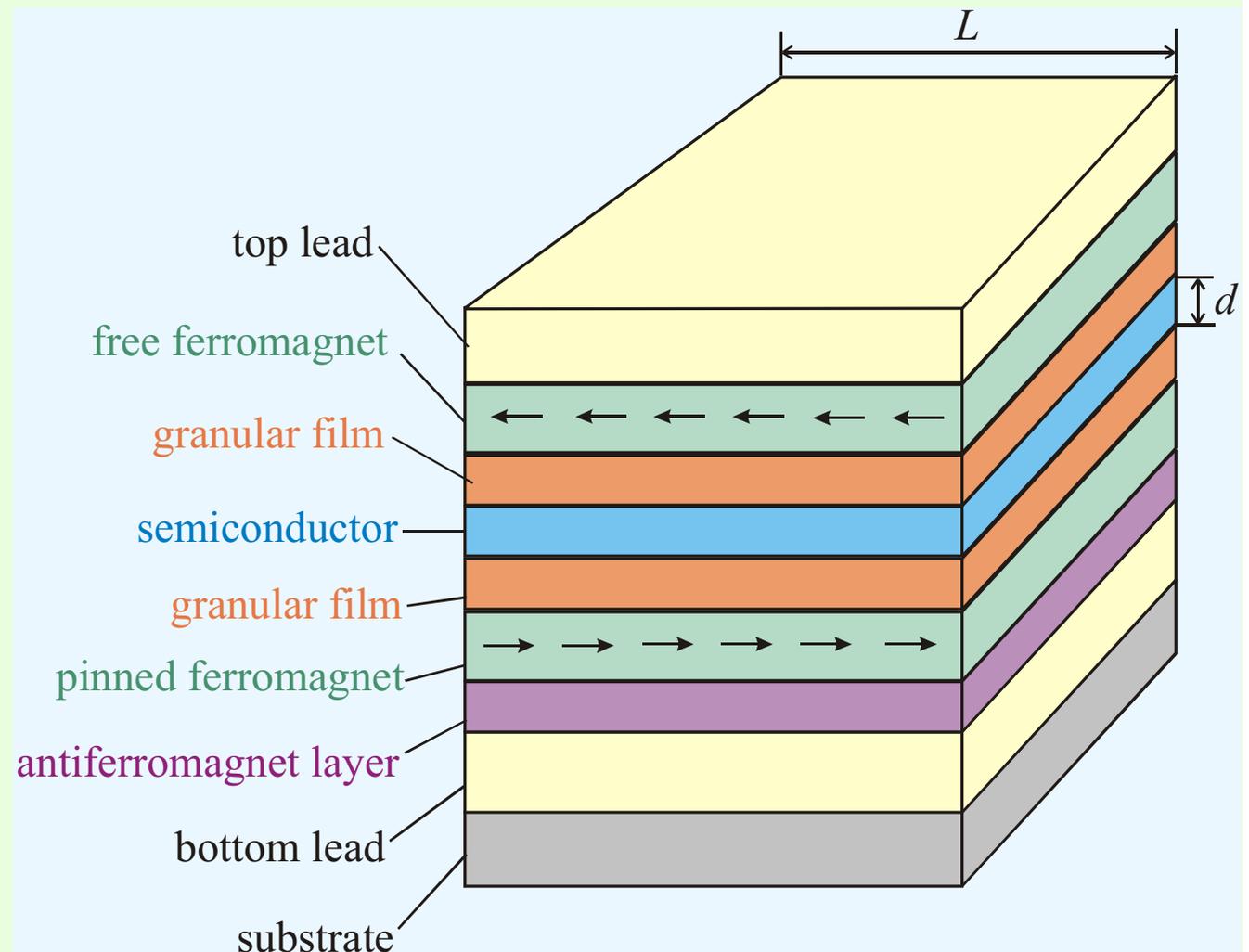
R.L. Millen et al. *Analytical Chemistry*, **80** (21), 7940 (2008)

Non-volatile magnetic memory storage cell.

Spin filter on the base of the heterostructure with two granular films with ferromagnetic metal nanoparticles.

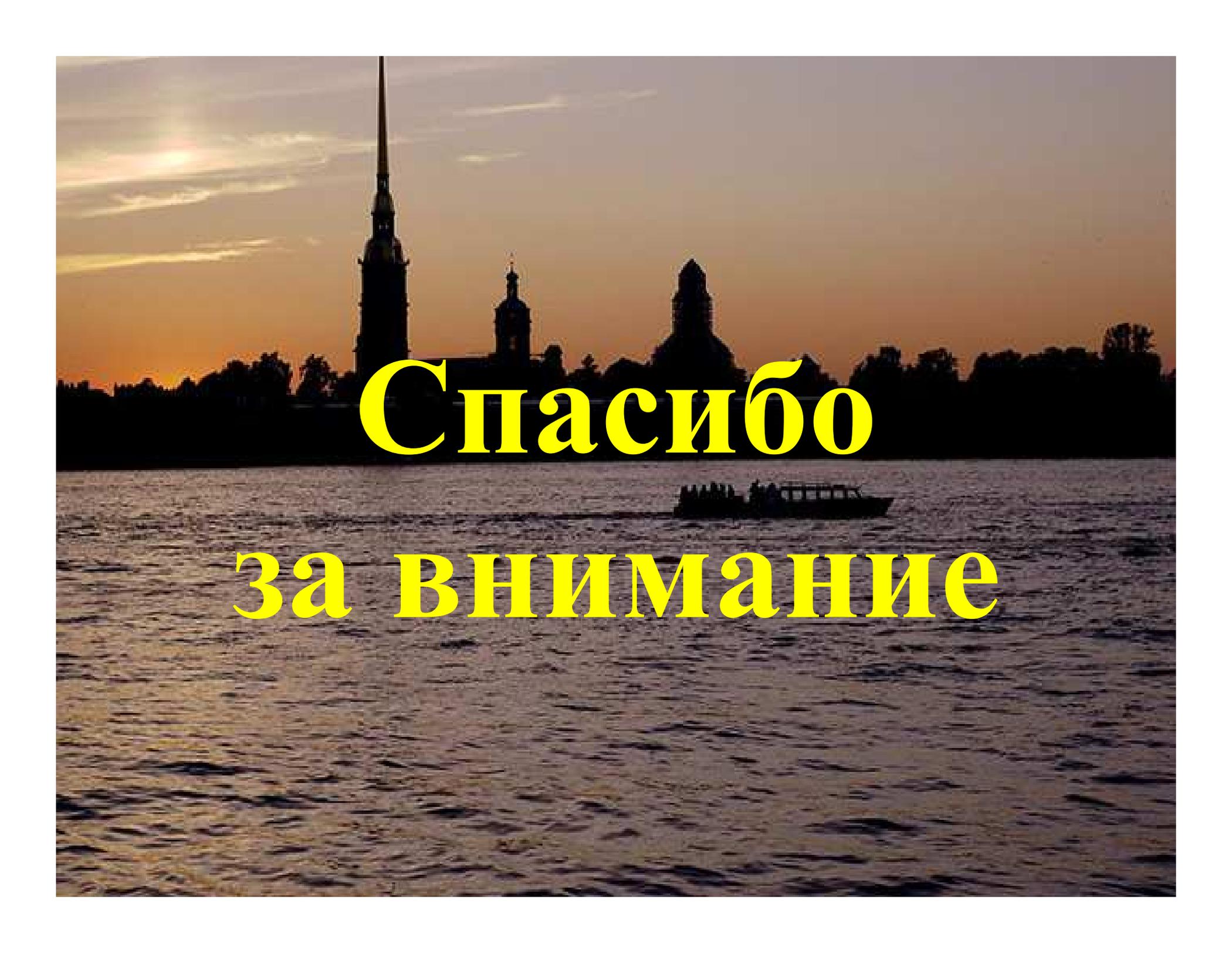
$L = 15 - 20 \text{ nm}$

$d = 10 - 15 \text{ nm}$



Выводы

- Локализованные обменно-расщепленные электронные состояния в квантовой яме вблизи интерфейса ответственны за эффект инжекционного магнитосопротивления. Эффект IMR характеризуется зависимостью в виде температурных пиков и может регулироваться электрическим полем.
- Использование поляризованных нейтронов и синхротронного излучения для исследования спин-поляризованных квантовых ям в спинтронике будет возрастать.

A sunset scene over a body of water. In the background, a city skyline is silhouetted against the orange and yellow sky. A boat is visible on the water in the middle ground. The text "Спасибо" is overlaid in large yellow letters.

Спасибо

за внимание