

# Конструктивно-технологический базис микро- и наносистем измерения магнитного поля

д.т.н. А.А. Резнев,  
НИИ ФСБ РФ (Россия)

# Сегменты рынка магнитных наноизделий

- Датчики и преобразователи магнитного поля;
- Датчики электрического тока;
- Гальванические развязки;
- Запоминающие устройства с произвольной выборкой;
- Спиновые транзисторы;
- Биосенсорные микроаналитические устройства;
- Электронные компасы;
- Датчики положения;
- Магниточувствительные и магнитоуправляемые интегральные схемы;
- Прочие магнитные наноизделия.

# Разновидности МР эффектов и основные магниторезистивные наноструктуры

Анизотропный магниторезистивный эффект (АМР)

$$\Delta R = (\Delta\rho / \rho) R \cos^2 \varphi, \quad (1)$$

ЗС/М1/РС/М2/ЗС,  
( $\Delta\rho/\rho$ ) = 1,5-2,5 %

М1, М2  
(Fe<sub>19</sub>Ni<sub>81</sub> или FeNiCo) - 15÷25 нм

ЗС и РС (Ti или Ta) – 5-6 нм

Гигантский магниторезистивный эффект (ГМР)

$$\Delta R = 0,5(\Delta\rho / \rho) R (1 - \cos \varphi) \quad (2)$$

$$\Delta R = 0,5(\Delta\rho / \rho) R \cos(\varphi - \psi) \quad (3)$$

М1/НМ/М2/ФС – СВМР, ( $\Delta\rho/\rho$ ) = 5-50 %  
М1/Д/М2/ФС – СТМР, ( $\Delta\rho/\rho$ ) > 50 %

М1 и М2 (FeNiCo) – 20-30 нм;  
ФС (FeMn, IrMn) – 10-20 нм;  
НМ (Cu, Au) и Д (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO) – 1,5-2,5 нм

где ( $\Delta\rho/\rho$ ) - величина МР эффекта,  $\varphi$  – угол между вектором намагниченности плёнки и протекающим через наноструктуру током,  $\psi$ - смещение, из-за наличия оси легкого намагничивания, размагничивающих полей и других факторов

# Метод теоретического анализа статических характеристик многослойных тонкопленочных МР

$$E = E_k + E_m + E_r + E_H;$$

$$E_k = K_h d_h \sin \phi_h + K_l d_l \sin \phi_l;$$

$$E_m = 0,5 d_h (\mathbf{M}_h \mathbf{H}_{r,h}) + 0,5 d_l (\mathbf{M}_l \mathbf{H}_{r,l});$$

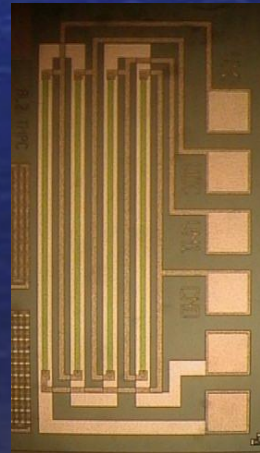
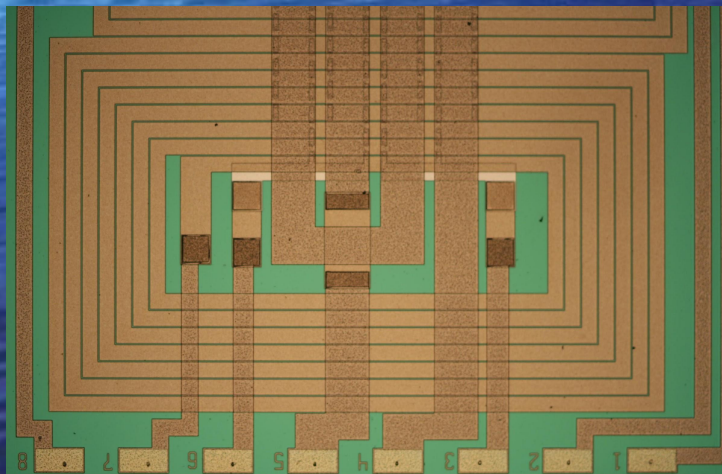
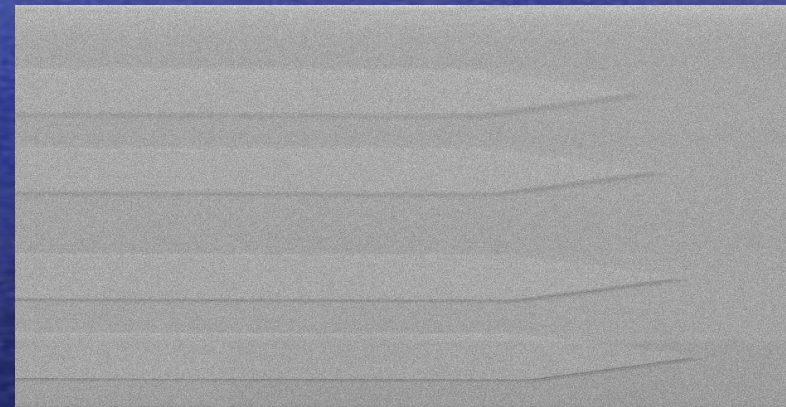
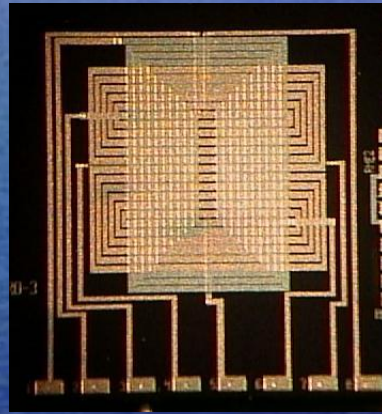
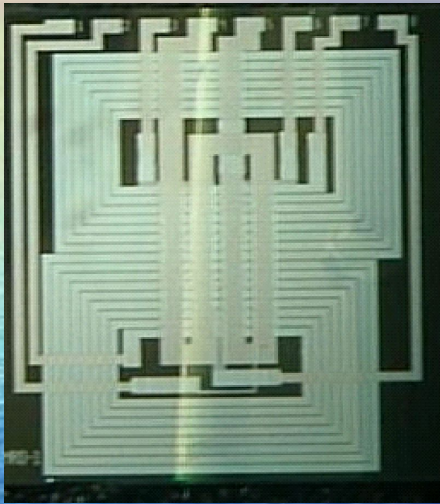
$$E_r = -d_h (\mathbf{M}_h \mathbf{H}_{r,l}) - d_l (\mathbf{M}_l \mathbf{H}_{r,h});$$

$$E_H = -d_h (\mathbf{M}_h \mathbf{H}) - d_l (\mathbf{M}_l \mathbf{H});$$

$$(\phi_h, \phi_l) = \operatorname{argmin} E$$

где  $E_k$  – энергия анизотропии;  $E_m$  – магнитостатическая энергия;  $E_r$  – энергия взаимодействия двух МР пленок;  $E_H$  – энергия во внешних магнитных полях  $H$ , включая магнитные поля, создаваемые токами в проводниках и сенсорного тока в МР полоске;  $h$  и  $l$  – индексы, обозначающие высоко- (ВП) и низкоанизотропную (НП) МР пленки,  $K_h$  и  $K_l$  – константы магнитной анизотропии ВП и НП;  $d_h$  и  $d_l$  – толщины МР пленок;  $\phi_h$  и  $\phi_l$  – углы между осью лёгкого намагничивания (ОЛН) и векторами намагниченности  $\mathbf{M}_h$  и  $\mathbf{M}_l$ ;  $H_{r,h}$  и  $H_{r,l}$  – поля размагничивания, возникающие на краях МР наноструктуры.

# Конструкции анизотропных магниторезистивных преобразователей (АМРП)



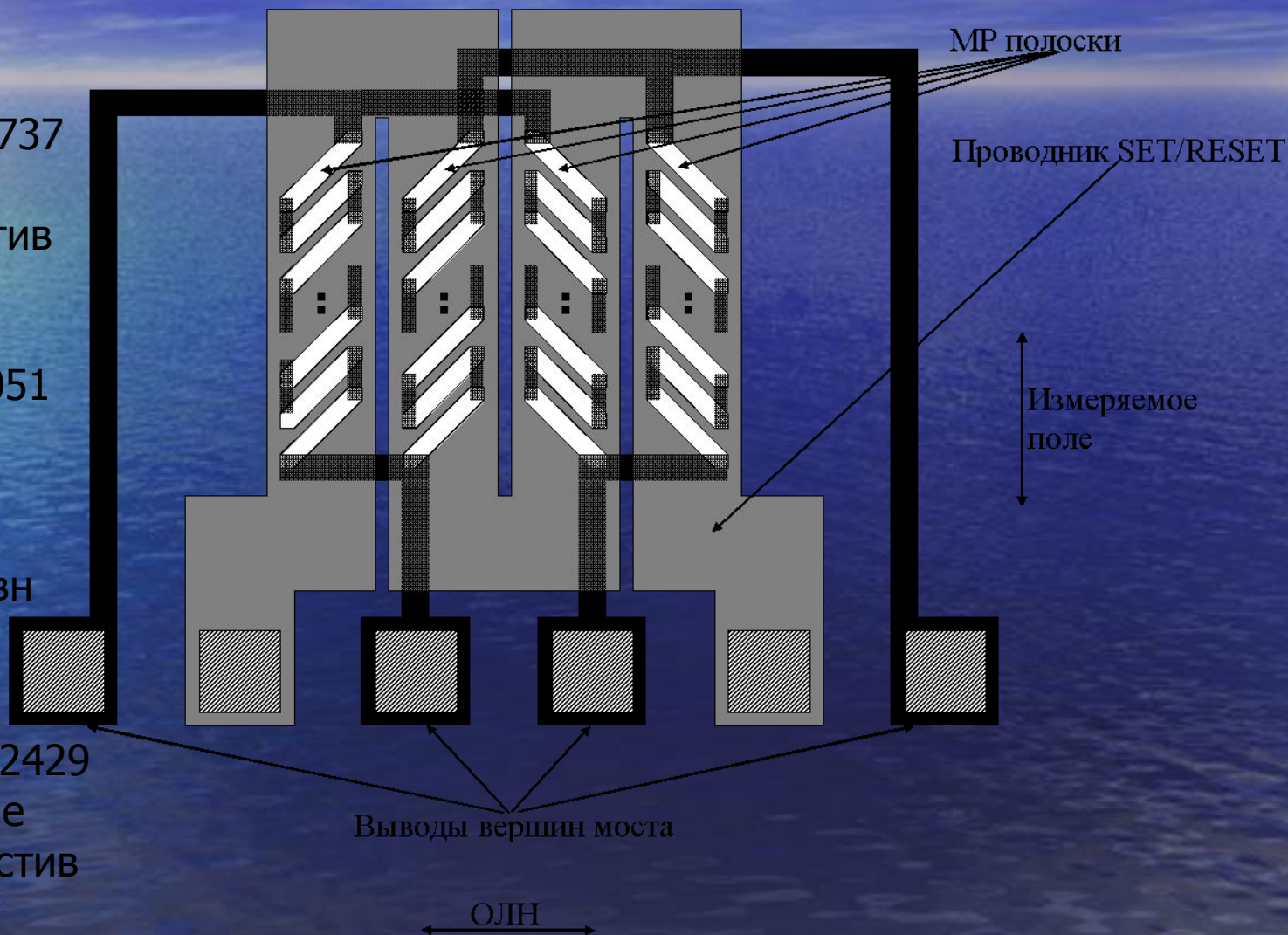
pA	Mag	Det	FWD	Tilt	
11.0	3.25 kX	CDM-E	18.0	-8.5°	10 μm

# Разработанная конструкция АМРП

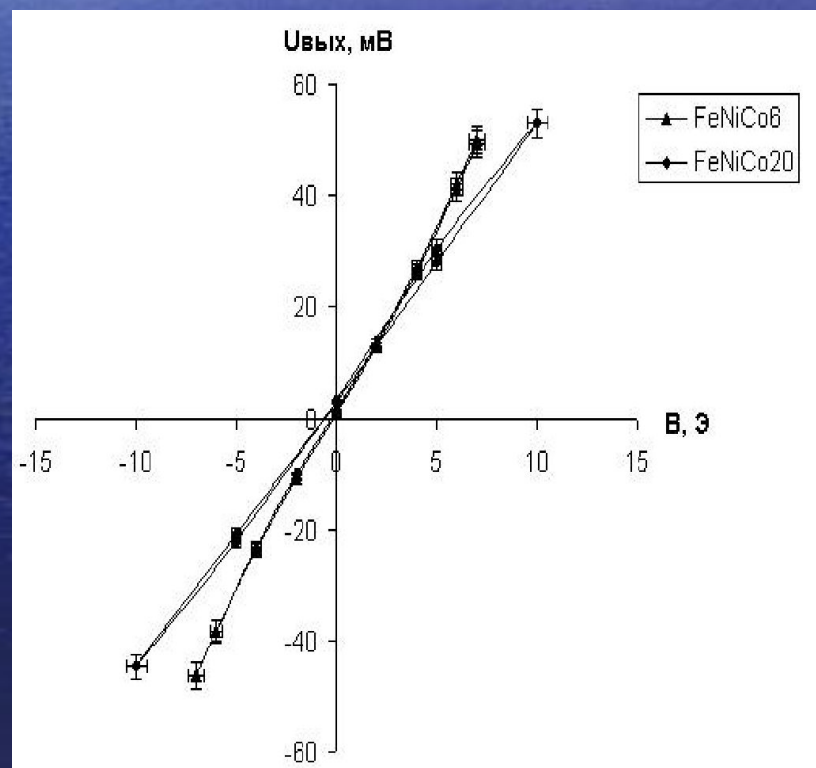
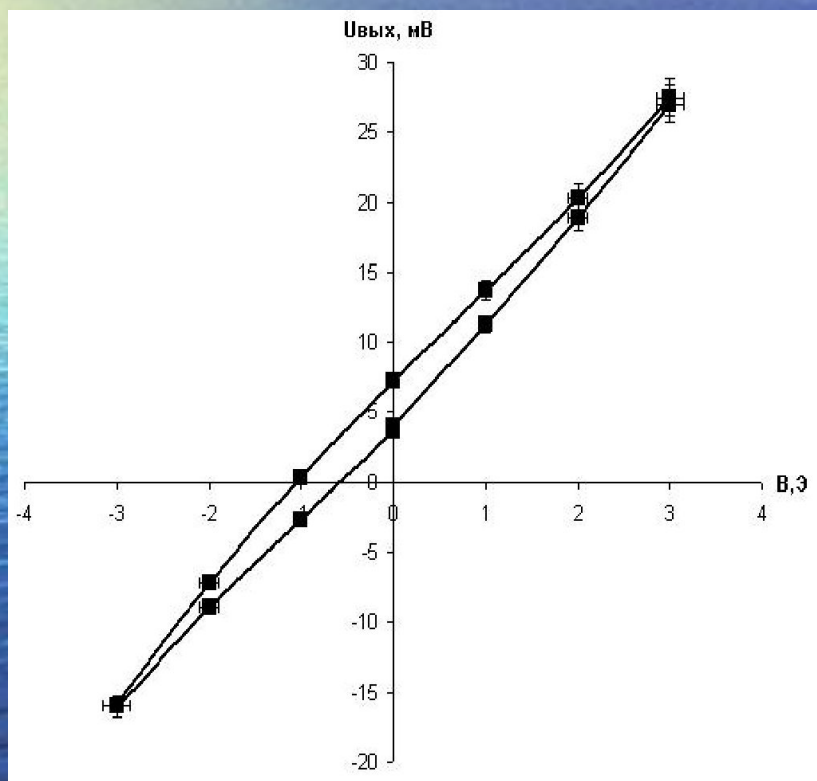
Патент № 2279737  
на изобретение  
«Магниторезистив-  
ный датчик»

Патент № 2320051  
на изобретение  
«Способ  
изготовления  
магниторезистивн-  
ых датчиков»

Патент № 2312429  
на изобретение  
«Магниторезистив-  
ный датчик»



# ВЭХ АМРП на основе FeNi и FeNiCo

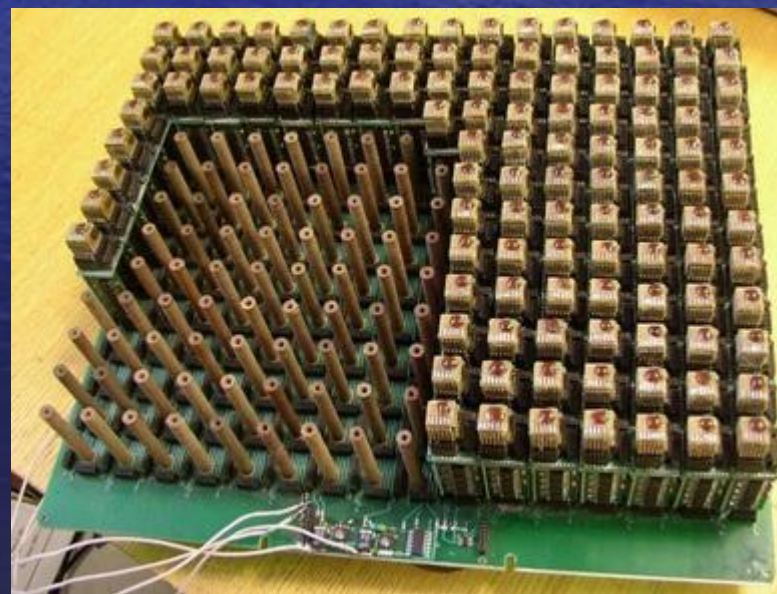
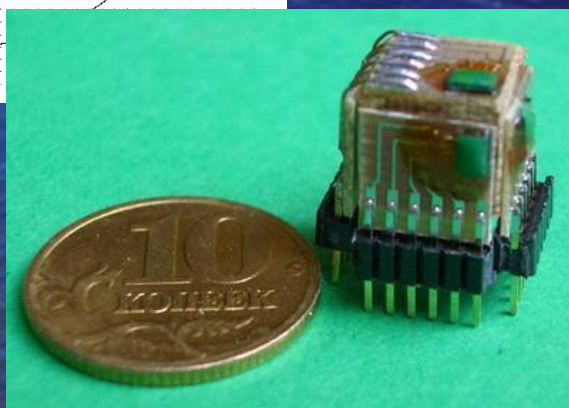
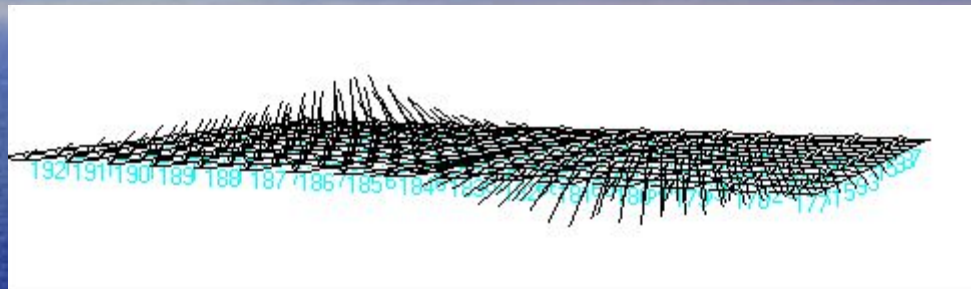
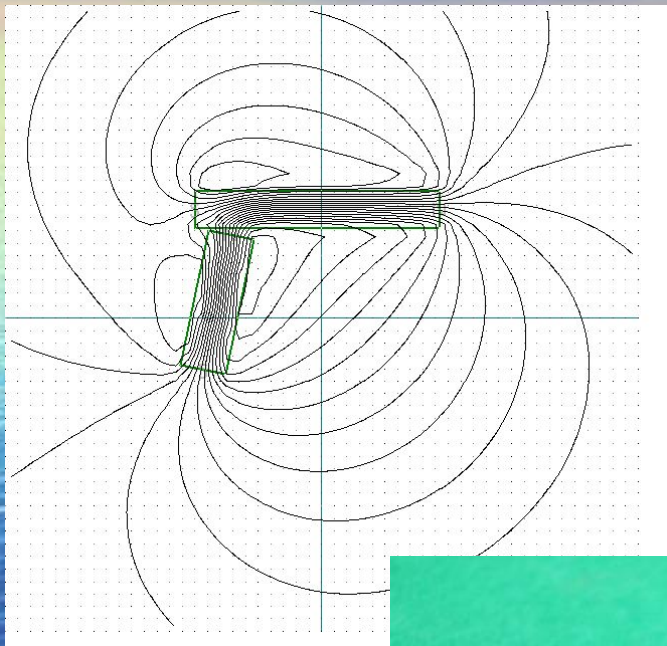


# Результаты экспериментальных исследований АМРП

	АМРП на основе FeNi	АМРП на основе FeNiCo <sub>6</sub>	АМРП на основе FeNiCo <sub>20</sub>
Диапазон измерения МП, Э	±3	±7	±10
Чувствительность по магнитному полю, мВ/(ВхЭ)	0,7	0,65	0,55
Чувствительность по току мВ/(ВхА)	70	65	55
Гистерезис, %	9	0,96	0,12



# Двумерное и трехмерное распределение магнитного поля от объектов с помощью трехмерной матрицы АМРП





Благодарю за внимание