

Sensory w Aplikacjach Wbudowanych

Sensory Spintroniczne W-3

Piotr Wiśniowski

Instytut Elektroniki AGH

piotr.wisniowski@agh.edu.pl

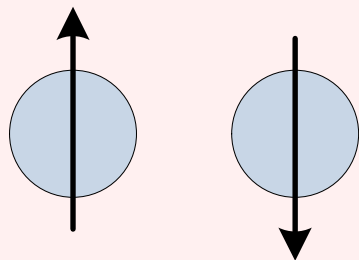
1. Spintronika

- > Spintronika
- > Elementy spintroniczne

2. Sensory spintroniczne

- > Budowa i zasada działania
- > Cechy
- > Zastosowania

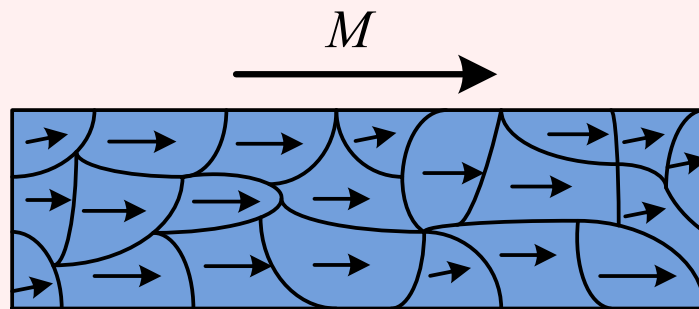
Spin elektronu



Spin - własność elektronu,
podobnie jak masa, ładunek
elektryczny

Momentem magnetyczny-moment pędu elektronu
wynikający z jego obrotu wokół własnej osi

Ferromagnetyk- materiał wykazujący uporządkowanie spinów (momentów magnetycznych)



Warstwa ferromagnetyczna
FM

Domeny magnetyczne - obszary w ferromagnetykach, w których występuje uporządkowanie momentów magnetycznych

Czym zajmuje się Spintronika?

Wykorzystaniem spinu i ładunku elektronu do budowy elementów umożliwiających

- >Realizację nowych funkcjonalności
- >Zwiększenie wydajności
- >Obniżenie poboru mocy

Urządzeń do przechowywania danych, przetwarzania informacji i pomiaru sygnałów

Pamięci masowe

Dyski twarde

Pamięci o dostępie swobodnym (RAM)

MRAM Pamięć uniwersalna (szybka, nieulotna, o niskim poborze mocy, tania, o nieograniczonej żywotności)

Sensory

Sensory pola magnetycznego

Wysoka czułość, nanometrowa rozdzielczość, niski pobór mocy

Układy logiczne

Spintroniczne układy logiczne

Urządzenia radiowe i mikrofalowe RF

Spinowe Nanoscylatory

1. Spintronika

- > Spintronika
- > Elementy spintroniczne

2. Sensory spintroniczne

- > Budowa i zasada działania
- > Cechy
- > Zastosowania

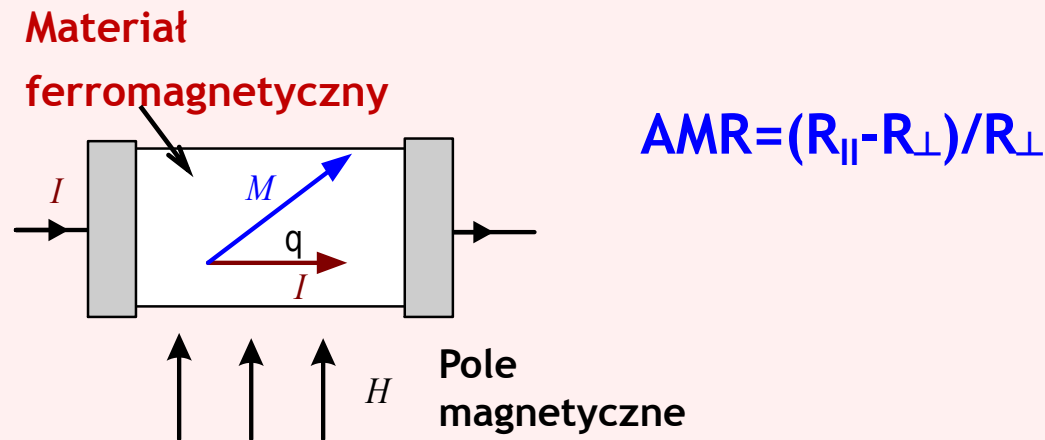
Magnetorezystancja (MR)

Magnetorezystancja to właściwość materiału, wielowarstw materiałów, polegająca na zmianie rezystancji w wyniku działania pola magnetycznego

Efekty magnetorezystancyjne (MR)

- ▶ Anizotropowa magnetorezystancja (AMR)
- ▶ Gigantyczna magnetorezystancja (GMR)
- ▶ Tunelowa magnetorezystancja (TMR)

Zasada działania-Efekt AMR



Zmianie rezystancji materiału ferromagnetycznego (FM) w wyniku zmiany kąta między kierunkiem wektora namagnesowania FM a kierunkiem która gęstości prądu

Cechy efektu AMR

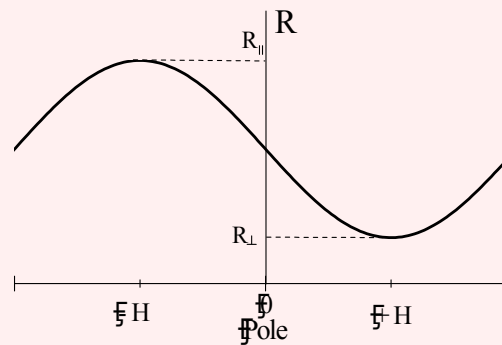
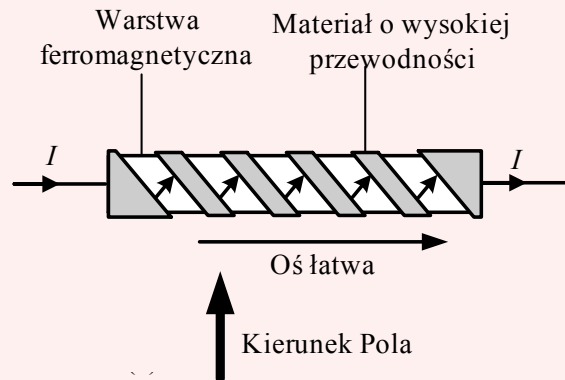
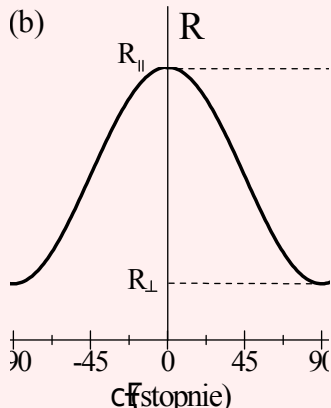
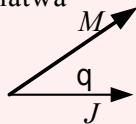
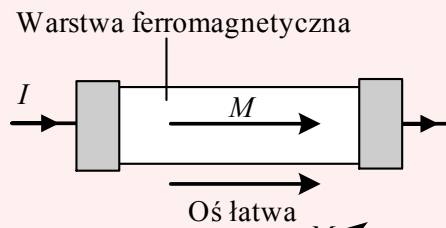
1. Zmiana rezystancji 1 %
2. Zmian rezystancji w wąskim zakresie pola O_e
3. Maksymalna rezystancja w 0 pola magnetycznego

Konsekwencje dla projektowania sensorów

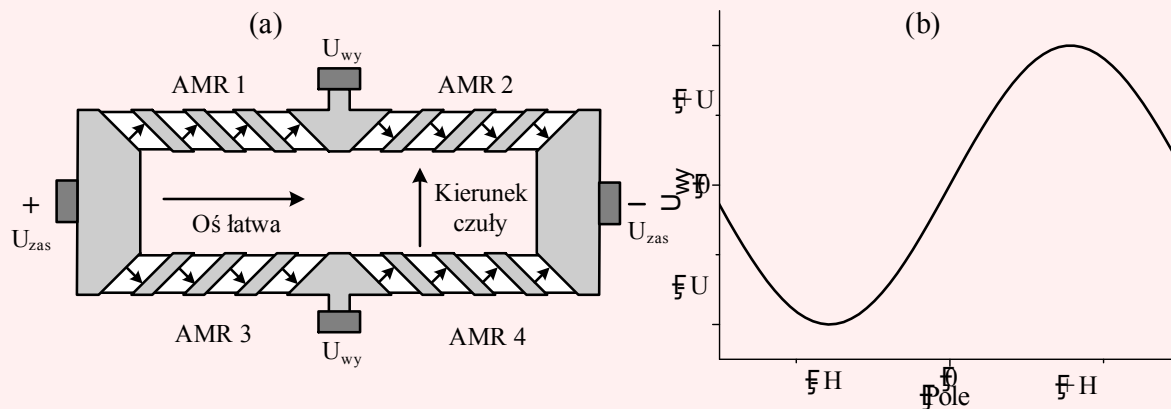
1. Wymaga integracji wzmacniacza z elementem
2. Pomiar słabych pól magnetycznych
3. Konieczna symetryzacja $R(H)$

Konsekwencje dla projektowania sensorów

Symetryzacja $R(H)$



Sensor AMR



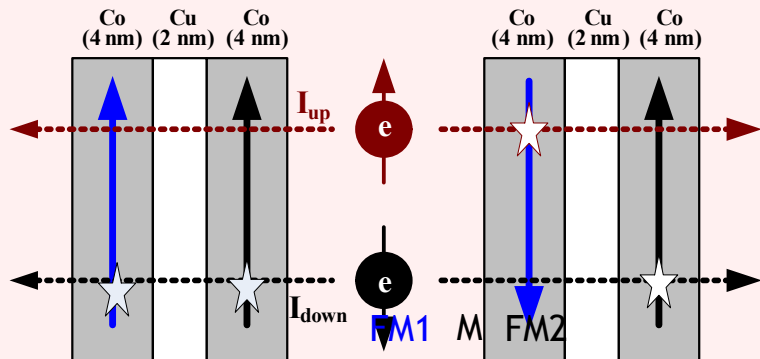
Cechy

- ▶ Mierzą stałe i zmienne pole
- ▶ Wąski zakres pomiaru pola
- ▶ Sygnał zależny od kąta między prądem a pole
- ▶ Prosta konstrukcja
- ▶ Możliwość miniaturyzacji

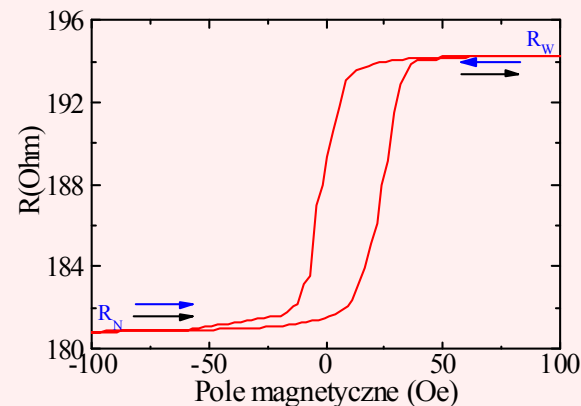
Typowe parametry

- ▶ **Zakres częstotliwości pracy:** Hz - MHz
- ▶ **Czułość:** $\mu\text{V/mT}$
- ▶ **Zakres pomiarowy:** do 2mT
- ▶ **Poziom szumów:** $\text{nT/Hz}^{1/2}$

Zasada działania-Efekt GMR



Gigantyczna Magnetorezystancja
(GMR)



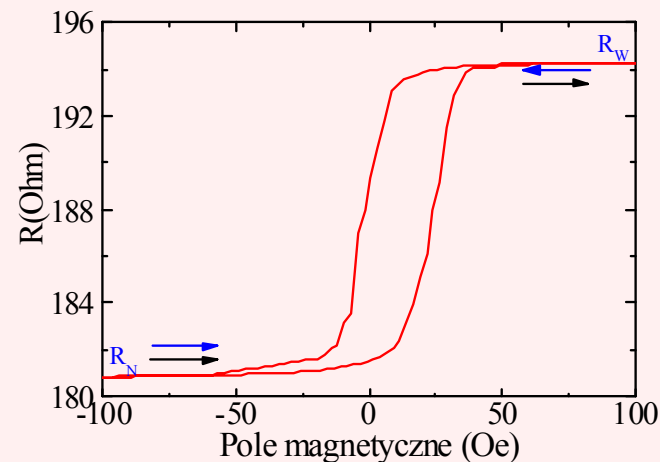
$$GMR = (R_W - R_N) / R_N$$

**Zależność rezystancji struktury warstwowej FM1/M/FM2
od kierunków wzajemnego namagnesowania ferromagnetyka
FM1 i FM2**

Spinowo zależne rozpraszanie elektronów

Cechy efektu GMR

1. Zmian rezystancji 8(60) %
2. Zmiany rezystancji w szerokim zakresie pola kOe
3. Dwa stany rezystancji niski lub wysoki
4. Miniaturyzacja do

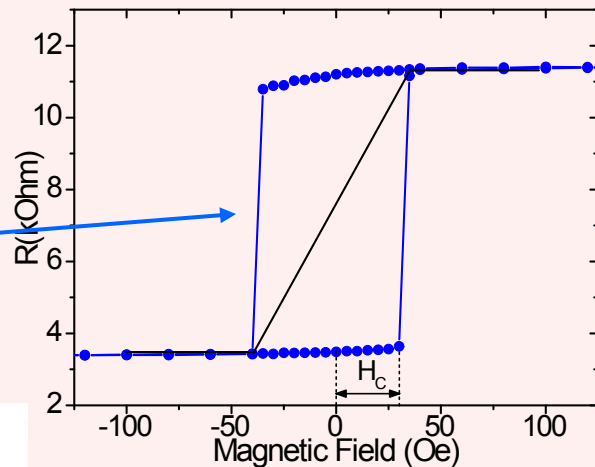
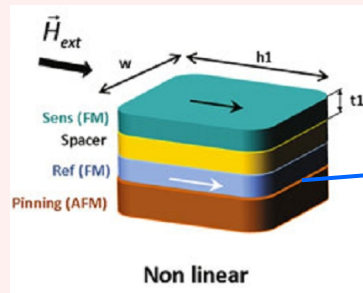


Konsekwencje dla projektowania sensorów

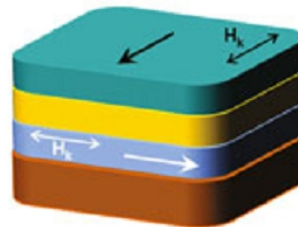
1. **Zmian rezystancji 8(60) %**
Brak konieczności wzmacniania
2. **Zmiany rezystancji w szerokim zakresie pola kOe**
Pomiar pól w szeroki zakresie wartości
3. **Dwa stany rezystancji niski lub wysoki**
Konieczność linearyzacji
4. **Miniaturyzacja do nm**
Możliwość pomiaru z wysoką rozdzielczości powierzchniową

Konsekwencje dla projektowania sensorów

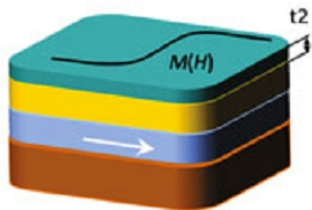
Linearyzacja



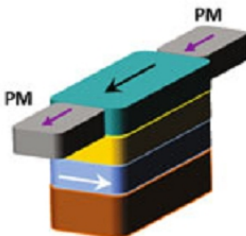
Crossed Anisotropies



Superparamagnetic sensing layer



External Field Biasing



Shape Anisotropy



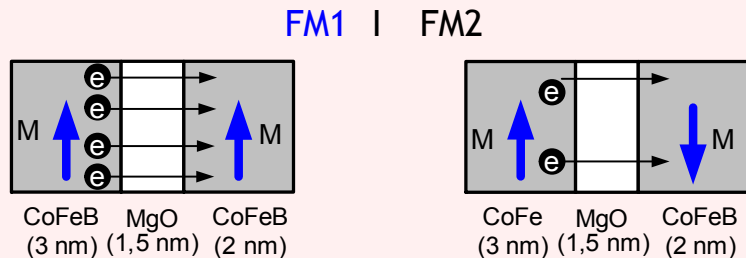
Cechy

- ▶ Mierzą stałe i zmienne pole magnetyczne
- ▶ Pomiar pól w szeroki zakresie
- ▶ Sygnał zależny od kąt między kierunkami namagnesowania warstw
- ▶ Złożona konstrukcja (wielowarstwowa, grubość nm)
- ▶ Możliwość miniaturyzacji nm

Typowe parametry

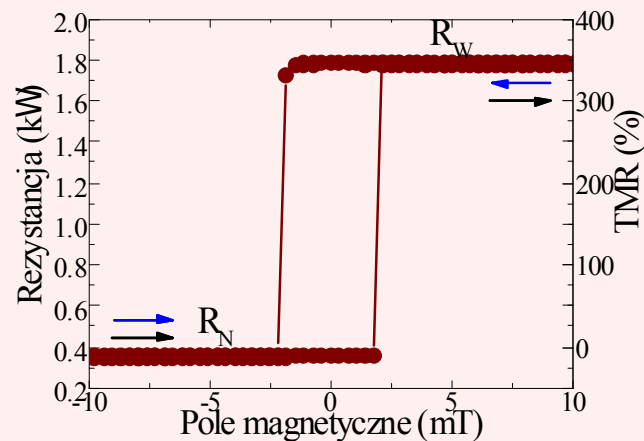
- ▶ Zakres częstotliwości pracy: Hz - MHz
- ▶ Czulość: mV/mT
- ▶ Zakres pomiarowy: do 0.3T
- ▶ Poziom szumów: nT/Hz^{1/2}

Zasada działania-Efekt TMR



Tunelowa Magnetorezystancja
(TMR)

$$TMR = (R_W - R_N) / R_N$$

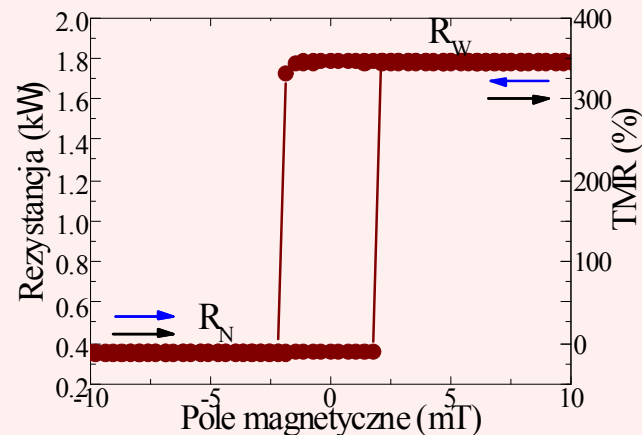


Zależność rezystancji struktury warstwowej FM1/I/FM2 od kierunków wzajemnego namagnesowania ferromagnetyka FM1 i FM2

Spinowo zależne tunelowanie elektronów

Cechy efektu TMR

1. Zmian rezystancji 400 (600) %
2. Zmiany rezystancji w szerokim zakresie pola kOe
3. Dwa stany rezystancji niski lub wysoki
4. Miniaturyzacja do nm
5. Bardzo szeroko zakres rezystancji Ω -M Ω



Właściwości efektu TMR-konsekwencje

1. **Zmian rezystancji 400(600) %**
Wysoka czułość, brak konieczności wzmacniania
2. **Zmiany rezystancji w szerokim zakresie pola kOe**
Pomiar pól w szeroki zakresie wartości
3. **Dwa stany rezystancji niski lub wysoki**
Konieczność linearyzacji
4. **Miniaturyzacja do nm**
Możliwość pomiaru z nm rozdzielczością
5. **Bardzo szeroko zakres rezystancji Ω -M Ω**
Dowolna rezystancja, możliwy b.niski pobór mocy

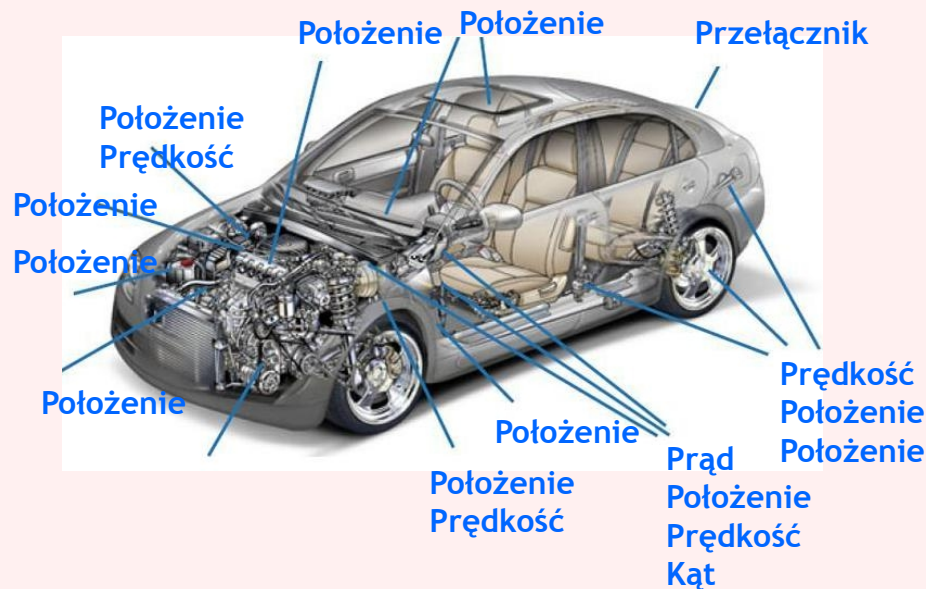
Cechy

- ▶ Mierzą stałe i zmienne pole magnetyczne
- ▶ Pomiar pól w szeroki zakresie
- ▶ Szeroki zakres rezystancji
- ▶ Złożona konstrukcja (wielowarstwowa, grubości nm)
- ▶ Możliwość miniaturyzacji nm

Typowe parametry

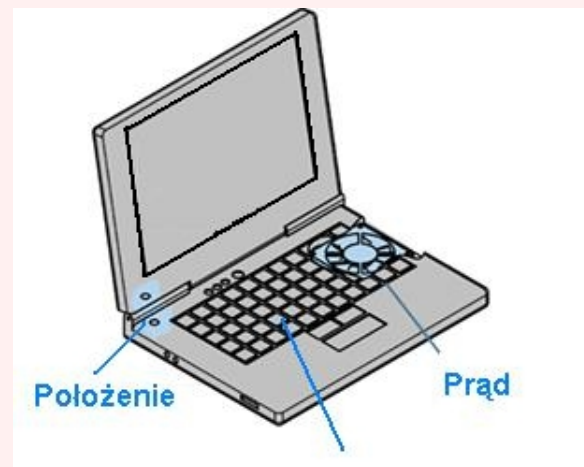
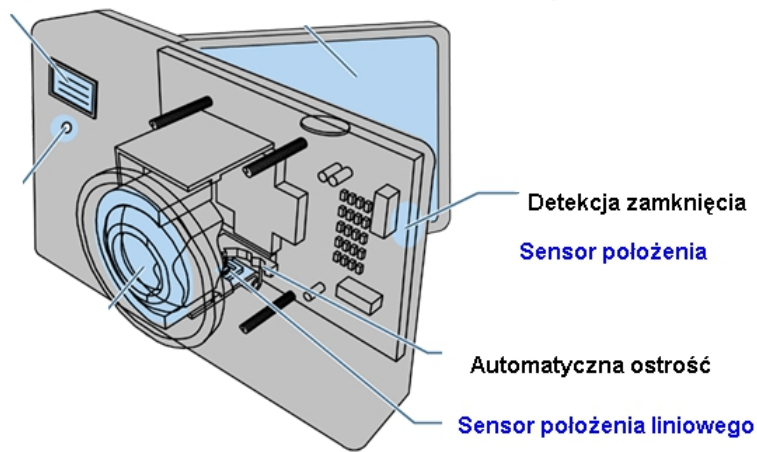
- > **Częstotliwości pracy:** Hz - GHz
- > **Czułość:** V/mT
- > **Zakres pomiarowy:** do 0.2T
- > **Poziom szumów:** nT/Hz^{1/2}

Pomiar: Położenia, Prędkości, Prądu, Kąta

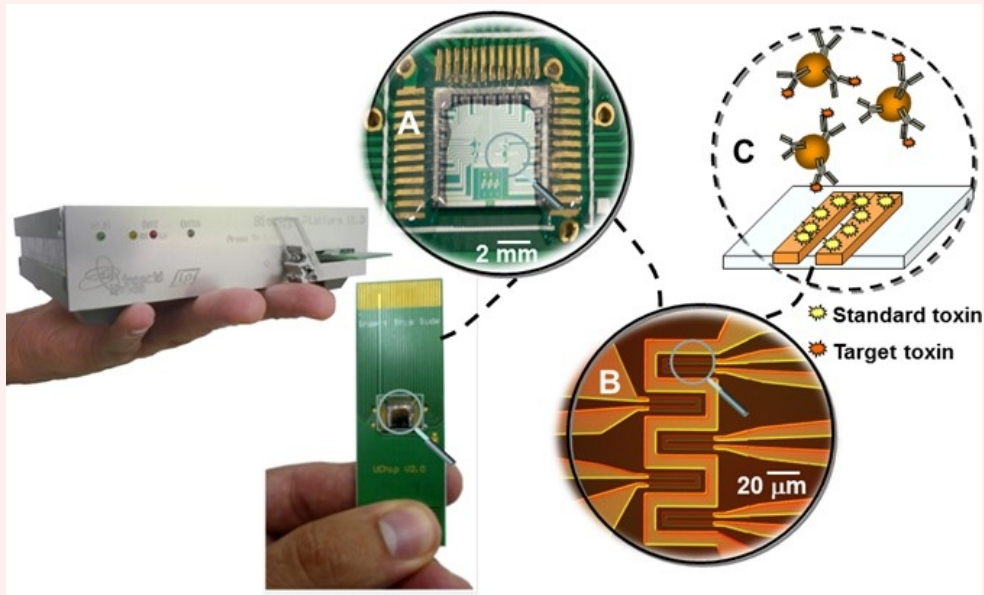


Zakres pola
magnetycznego mT- μ T

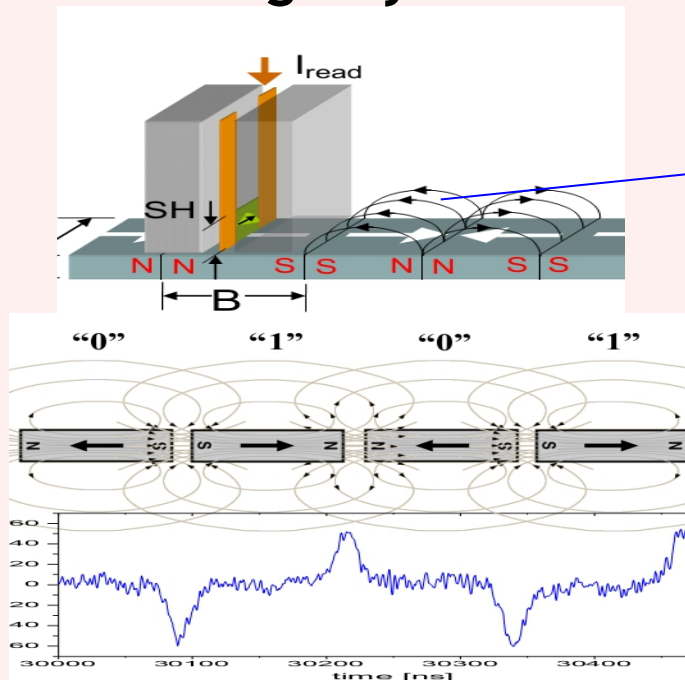
| 2. Sensory Spintroniczne | Zastosowania



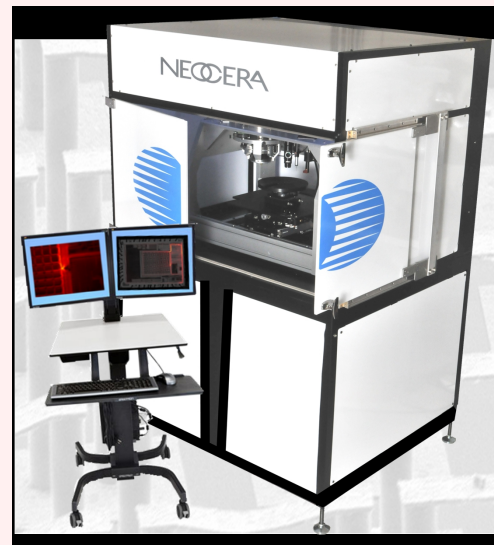
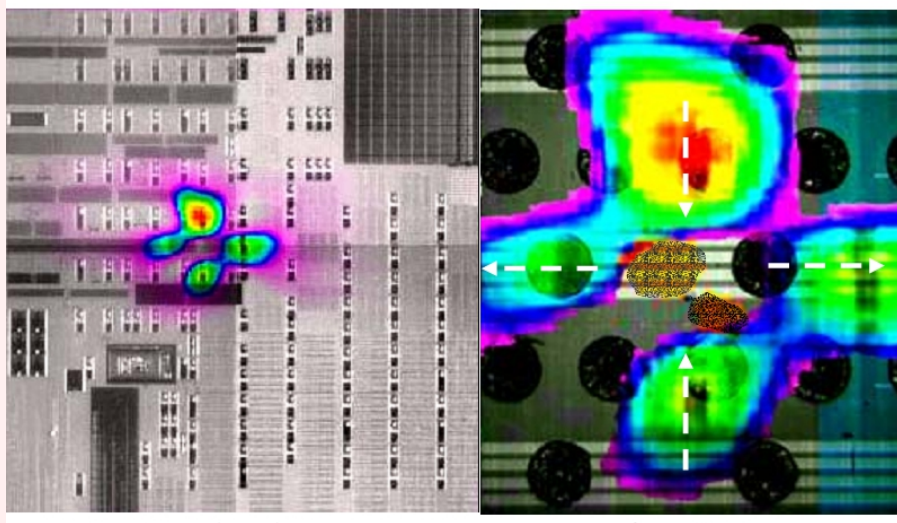
Detekcja: Nanocząstek, Biotoksyny (woda, żywność)



Pole magnetyczne



Pole magnetyczne



P. P. Freitas et al, *Spintronic sensors*

Proceedings of the IEEE, 104, 10, 2016

B. Dieny et al, *Opportunities and challenges for spintronics in the microelectronics industry*

Nature Electronics, 3, 446, 2016

Dziękuję za uwagę