

## Badanie własności magnetycznych GaMnAs za pomocą prądu

Kontakt: Piotr Juszyński;

mail: piotr.juszyński@fuw.edu.pl

Półprzewodniki półmagnetyczne (DMS - Diluted Magnetic Semiconductors) to materiały półprzewodników (np. GaAs), w których niektóre atomy zastąpiono atomami magnetycznymi (np. manganem - Mn). Pozwala to połączyć zalety półprzewodników i substancji magnetycznych w jednych materiałach.

Poniżej pewnej temperatury krytycznej ( $T_c$ ) materiał przechodzi w stan ferromagnetyczny. Atomy magnetyczne ustawiają się w jednym kierunku – w próbce pojawia się magnetyzacja  $\vec{M}$ . Magnetyzacja w takich materiałach jest często anizotropowa, czyli łatwiej ustawić się w pewnych wybranych kierunkach (oś łatwa). Inaczej mówiąc, aby skierować ją wzdłuż pewnych kierunków potrzeba więcej energii niż w innych (tak jak aby umieścić kamień na wysokim stole potrzeba więcej energii niż aby umieścić go na niskim).

Wewnętrzna magnetyzacja wpływa na ruch elektronów (i dziur) w półprzewodnikach – ma więc wpływ na mierzone napięcie Halla. Oznacza to, że mierząc efekt Halla możemy coś powiedzieć o magnetyzacji próbki. Podczas warsztatów przygotujemy próbkę do pomiarów elektrycznych (wykonamy litografię) oraz zmierzmy napięcie Hallowskie i opór próbki w niskich temperaturach.

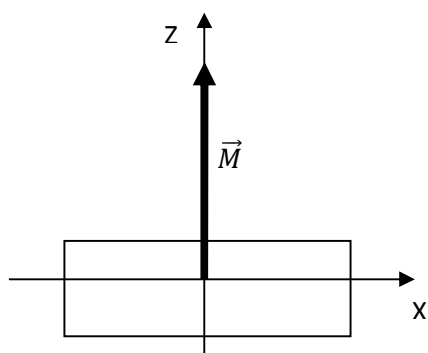
### ZADANIE:

Założ, że:

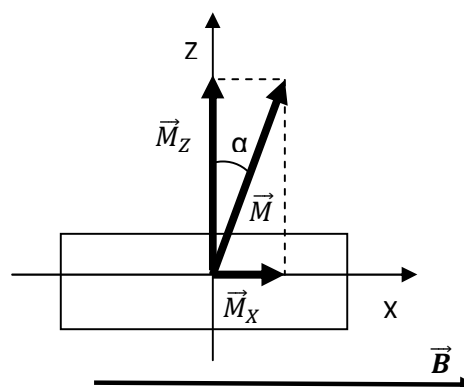
- 1) oś łatwa magnetyzacji jest prostopadła do płaszczyzny próbki, czyli energia związana z ustawieniem magnetyzacji  $E_M = K \cdot \sin^2 \alpha$
- 2) energia związana z oddziaływaniem magnetyzacji z zewnętrznym polem magnetycznym  $E_H = A \cdot \cos \gamma$
- 3) napięcie Halla  $U_H \approx A \cdot \vec{M}_z$
- 4) wartość magnetyzacji  $M$  nie ulega zmianie

gdzie:  $K, A$  – pewne stałe;

$\alpha = \text{kąt}(\vec{M}, \text{oś OZ}); \quad \gamma = \text{kąt}(\vec{M}, \vec{B}); \quad \vec{B}$  – wektor zewnętrznego pola magnetycznego



$\vec{B} = 0$



$\vec{B} \neq 0$

Narysuj wykres mierzonego napięcia Halla  $U_H$  w funkcji wartości zewnętrznego pola magnetycznego. Załóż, że w eksperymencie wartość pola zmienia się od wartości bardzo dużych w jedną stronę do wartości bardzo dużych w drugą stronę, i z powrotem.

Pamiętaj, że układ zawsze minimalizuje swoją energię.

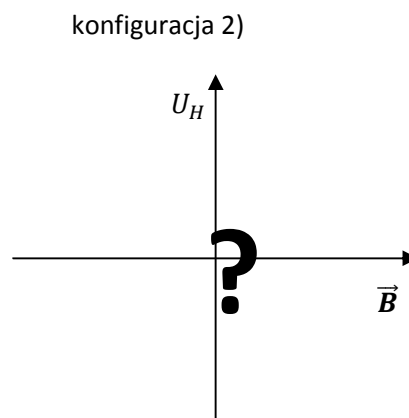
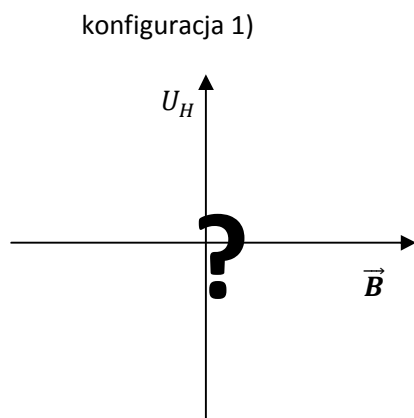
Rozważ dwie konfiguracje:

- 1) pole  $\vec{B} \parallel$  oś OX
- 2) pole  $\vec{B} \parallel$  oś OZ

Zaznacz i omów charakterystyczne punkty na wykresach.

Do rozwiązania możesz wykorzystać ścisłe obliczenia analityczne, przybliżone rachunki na komputerze lub własne jakościowe rozważania.

Zwróć uwagę, że może pojawić się histereza.



Literatura:

[1] H. Ibach, H. Lüth; *Fizyka Ciała Stałego*, Uzupełnienie XIV  
(lub dowolna inna książka z wyjaśnieniem efektu Halla)

[2] C. Kittel; *Wstęp do fizyki ciała stałego*, Rozdział 15