

# Magnetyczne i strukturalne własności półprzewodnikowych warstw (Ge,Mn)Te

W. Knoff, P. Dziawa, V. Osinniy, B. Taliashvili, E. Łusakowska,  
W. Domuchowski, L. Kowalczyk, M. Szot, K. Świątek, R. Diduszko,  
J.Z. Domagała, R. Jakiela, T. Story

*Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, al. Lotników 32/46,  
02-668 Warszawa, Polska*

# Wstęp

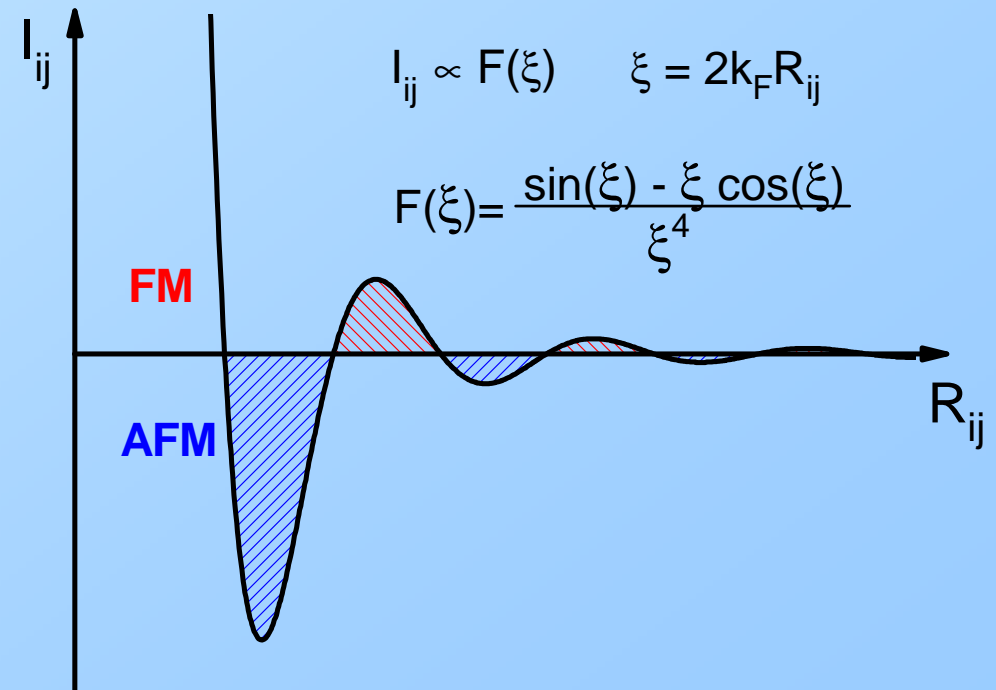
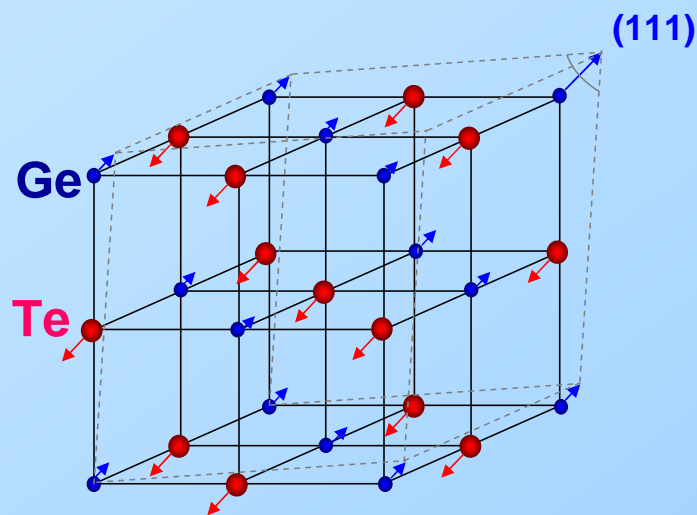
## Materiał

Półprzewodnikowe roztwory stałe GeMnTe należą do rodziny materiałów półprzewodnikowych z grupy IV-VI (półprzewodniki półmagnetyczne).

## Ferromagnetyzm indukowany nośnikami

Ferromagnetyzm w  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  jest związany z oddziaływaniem wymiennym (RKKY) pomiędzy nośnikami ładunku (ciężkimi dziurami) a jonami magnetycznymi Mn.

Monokrystaliczna struktura romboedryczna zorientowana w kierunku (111) (kryształ ferroelektryczny)



# Motywacja

Badanie wzajemnych relacji między przejściem ferromagnetycznym (indukowanego nośnikami) oraz strukturalnym (ferroelektrycznym) w monokrystalicznych warstwach półprzewodników półmagnetycznych

# Cel

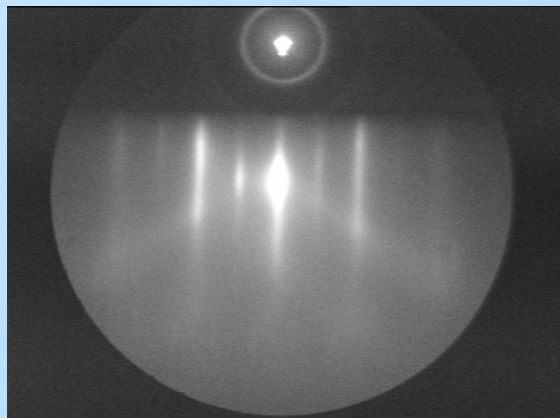
Badanie własności strukturalnych i magnetycznych monokrystalicznych warstw  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  dla różnych koncentracji Mn

# Charakteryzacja warstw

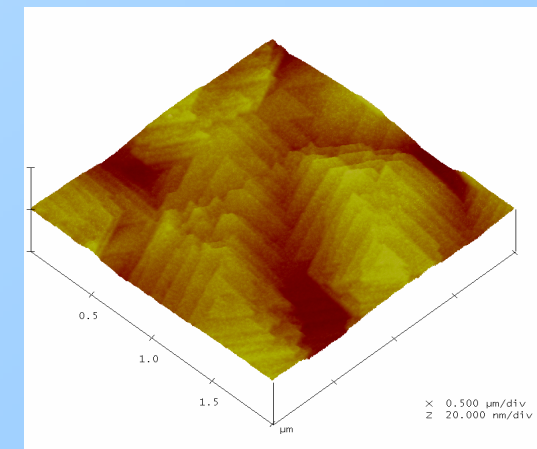
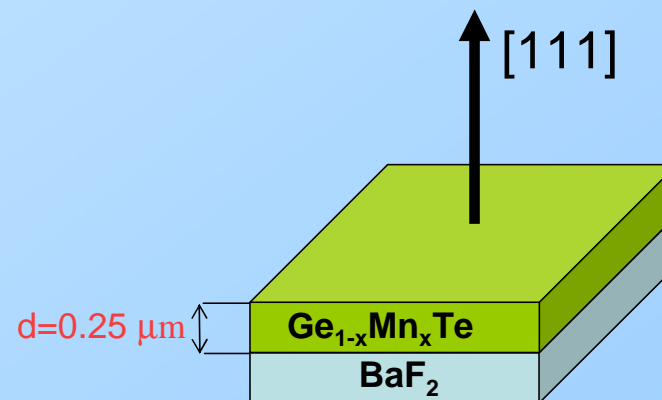
Hodowanie warstw GeMnTe na podłożu BaF<sub>2</sub>(111) metodą epitaksji z wiązek molekularnych przy użyciu komórek efuzyjnych zawierających GeTe, Mn oraz Te

Proces wzrostu warstw Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te jest kontrolowany *in situ* za pomocą dyfrakcji wysokoenergetycznych elektronów (RHEED)

Stanowisko technologiczne MBE



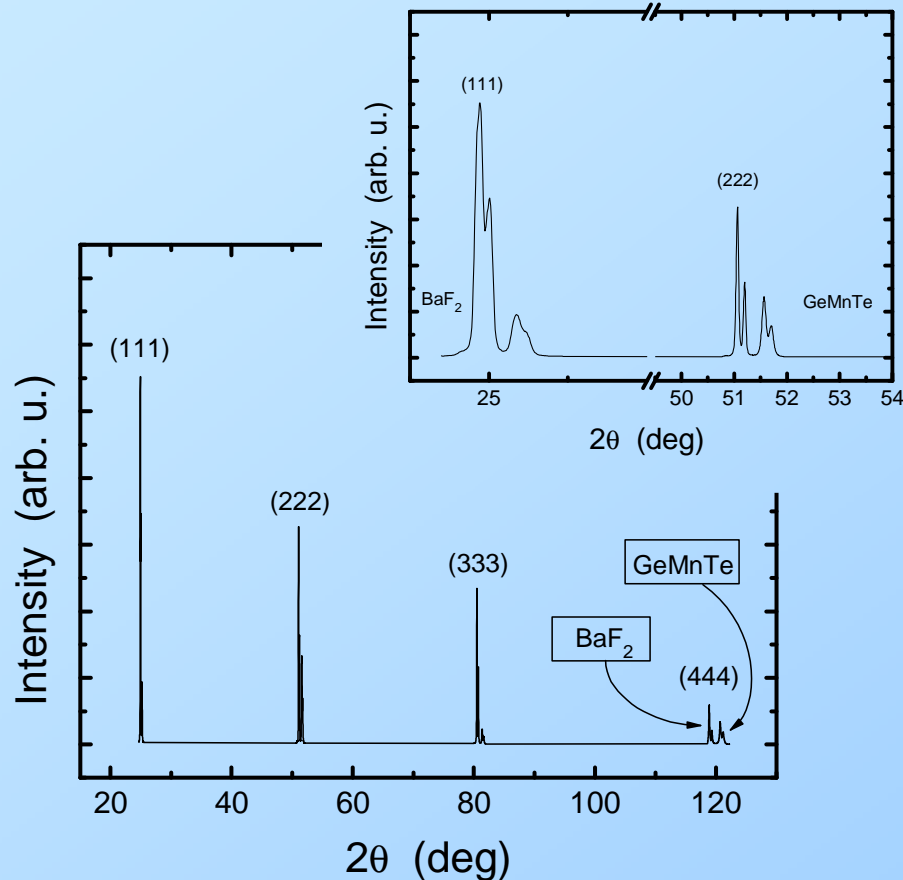
Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te na BaF<sub>2</sub>



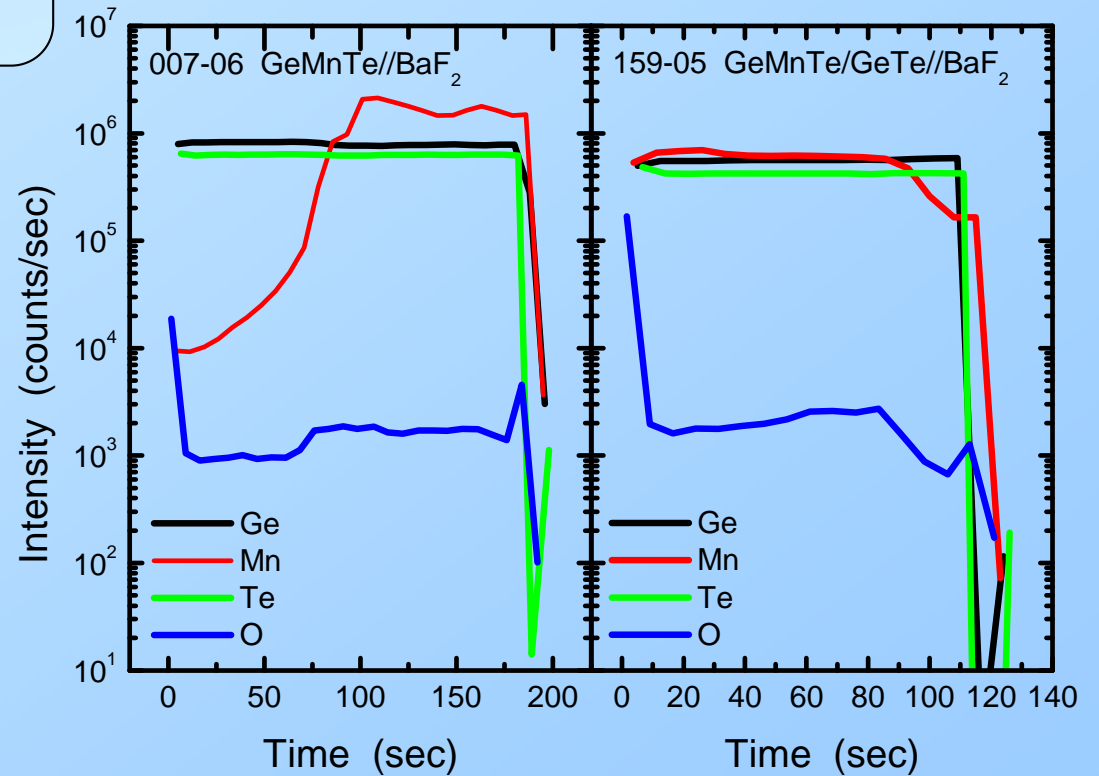
Topografia powierzchni GeMnTe uzyskana przy użyciu mikroskopu sił atomowych (AFM). RMS=1-10 [nm]

# Charakteryzacja strukturalna

Wyniki badań rentgenowskich (XRD) w temperaturze pokojowej wykazały szerokość połówkową pików dyfrakcyjnych (FWHM) między 100 a 600 arcsec dla badanych warstw



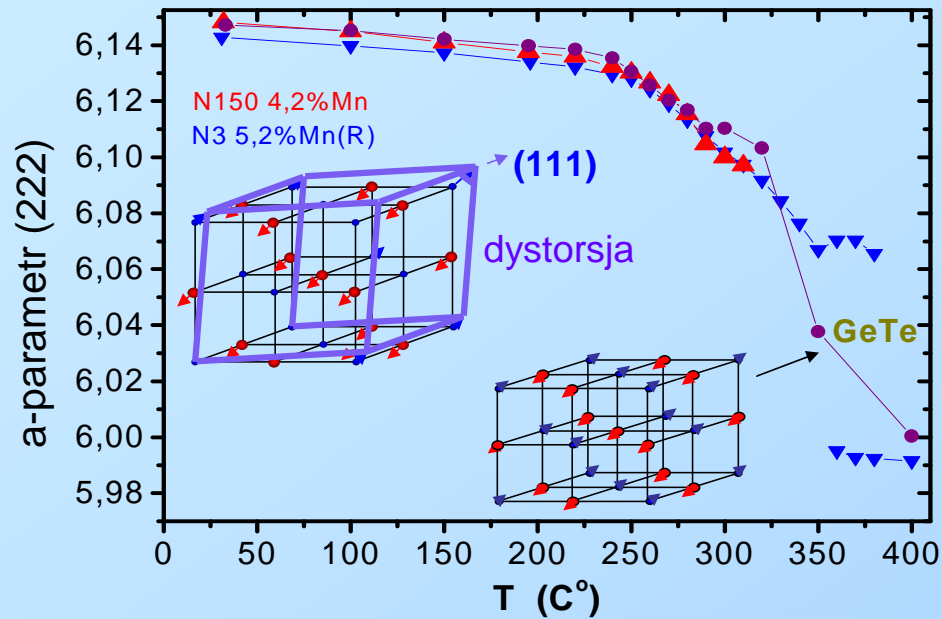
Spektroskopia masowa jonów wtórnych (SIMS)



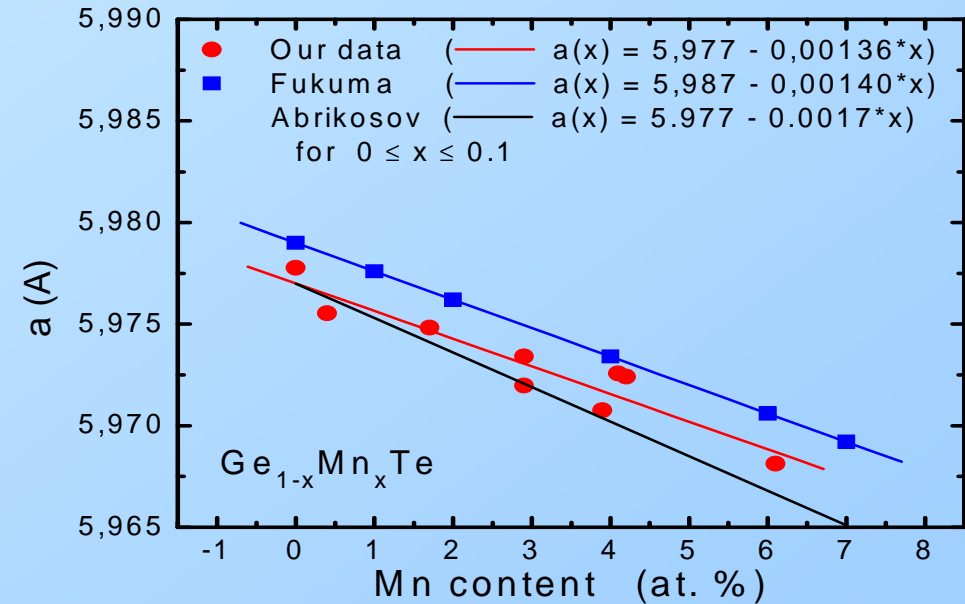
Rozkład jonów Mn w Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te

# Charakteryzacja strukturalna

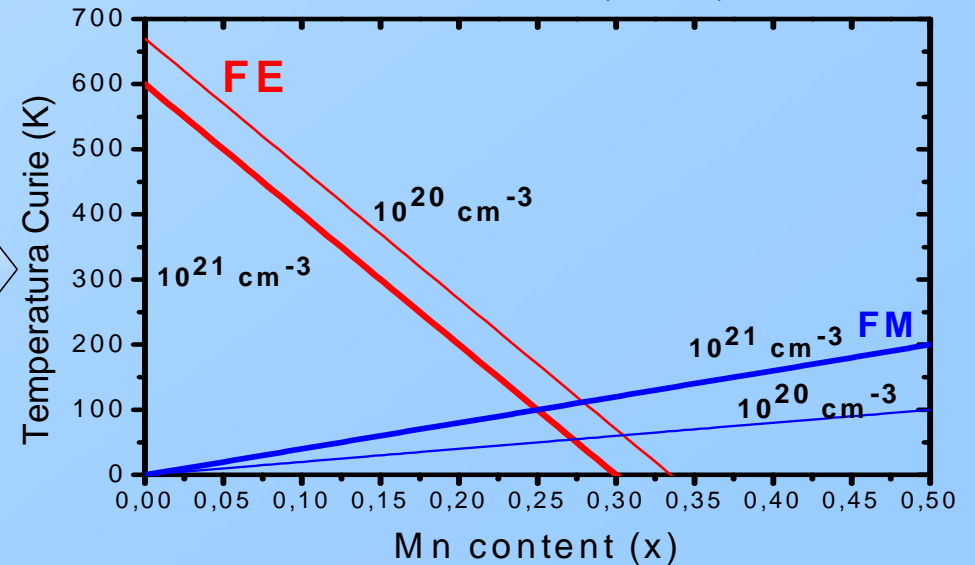
**Dystorsja poniżej temperatury przejścia strukturalnego (ferroelektryczność)**



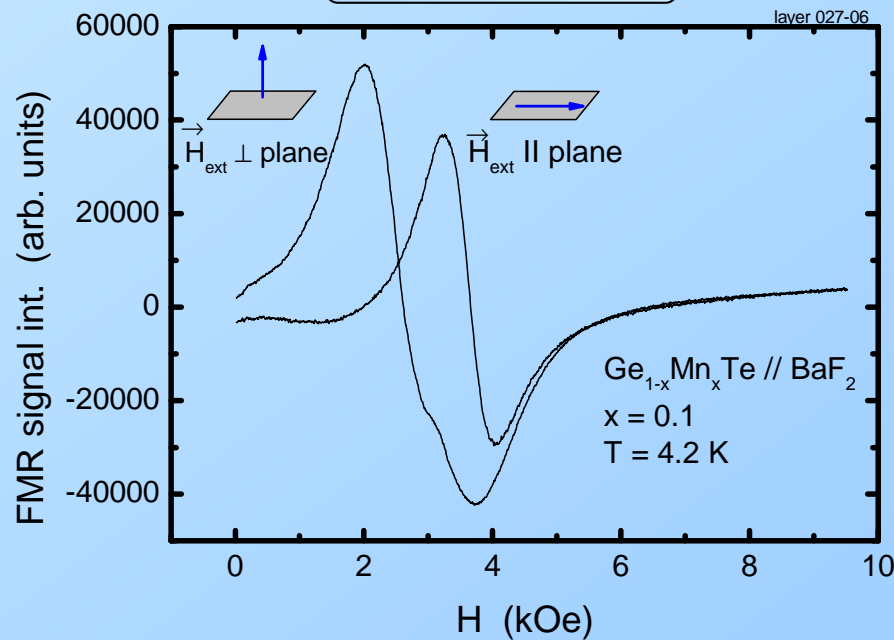
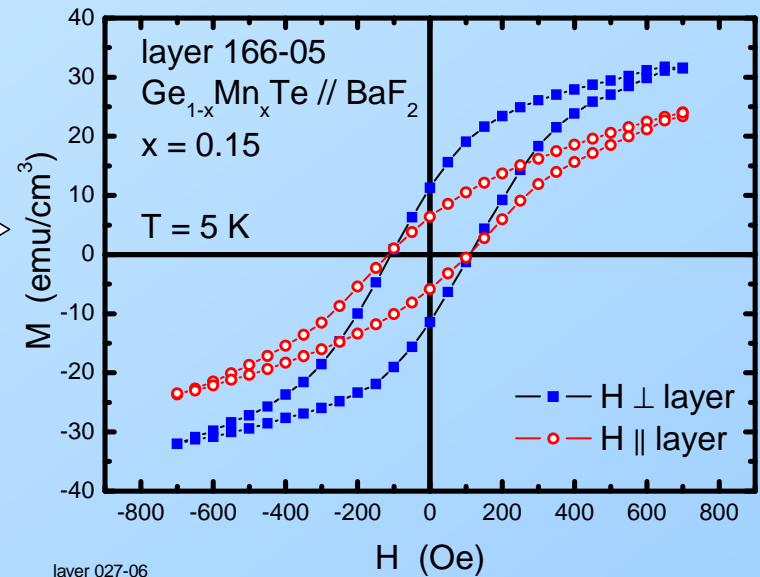
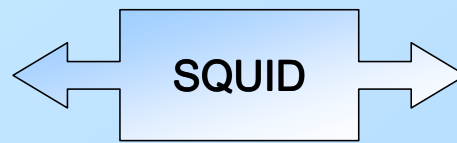
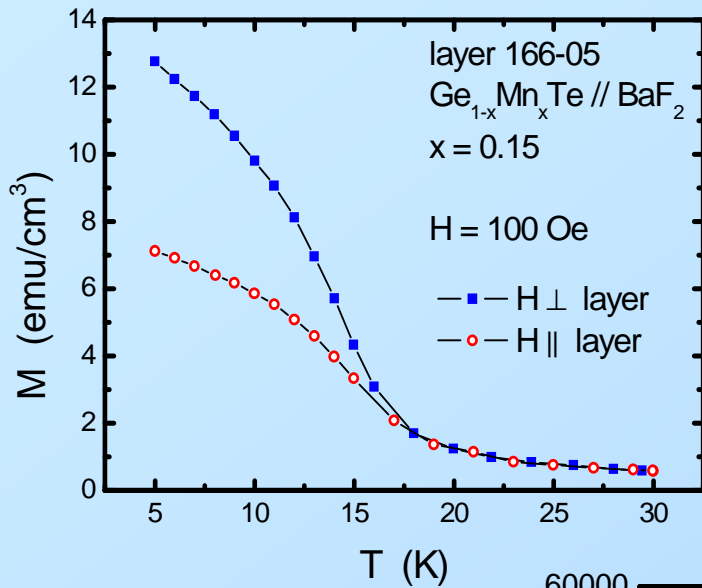
**Parametr sieci zmienia się zgodnie z prawem Vegarda**



**Możliwość kontrolowania przejścia ferromagnetycznego i ferroelektrycznego w zależności od koncentracji jonów Mn i dziur**



# Własności magnetyczne



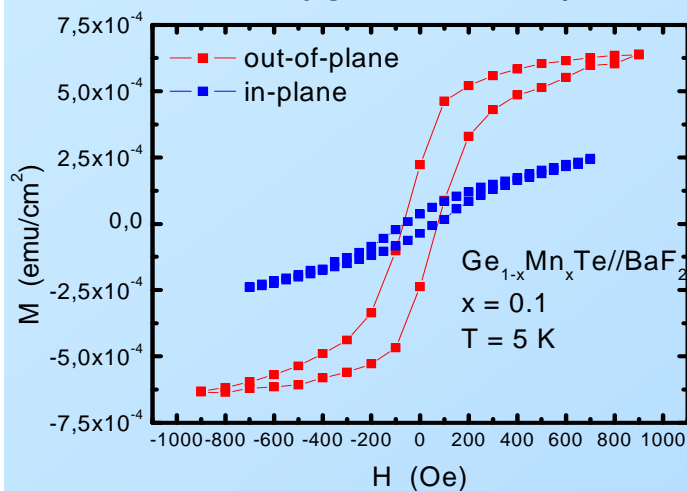
**Oś łatwego magnesowania prostopadła do powierzchni próbki**

# Wpływ wygrzewania na własności strukturalne i magnetyczne

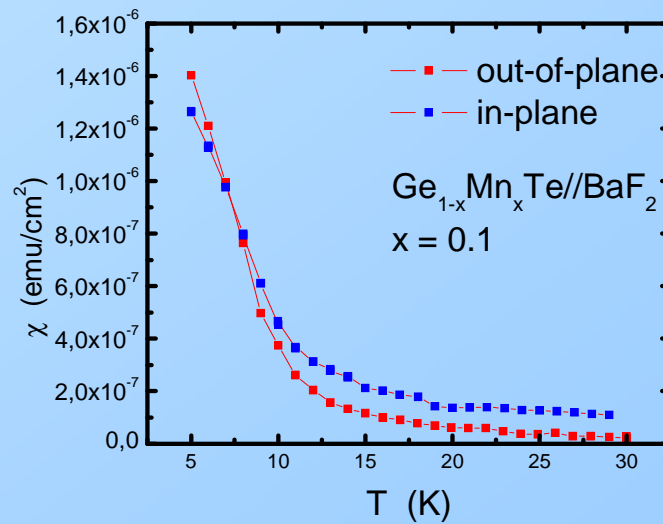
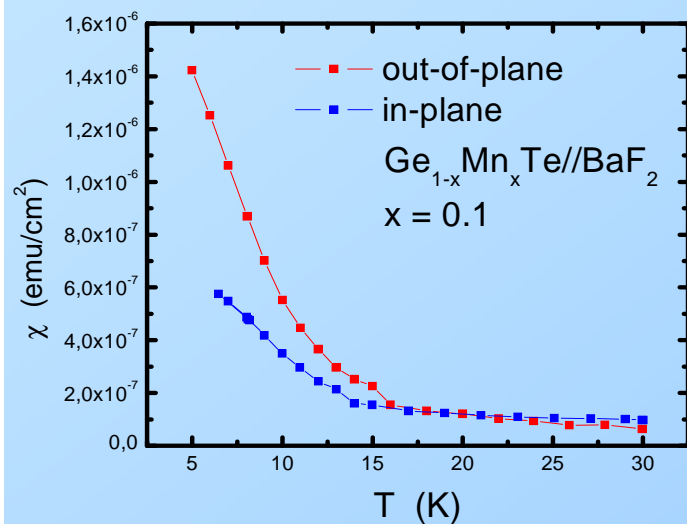
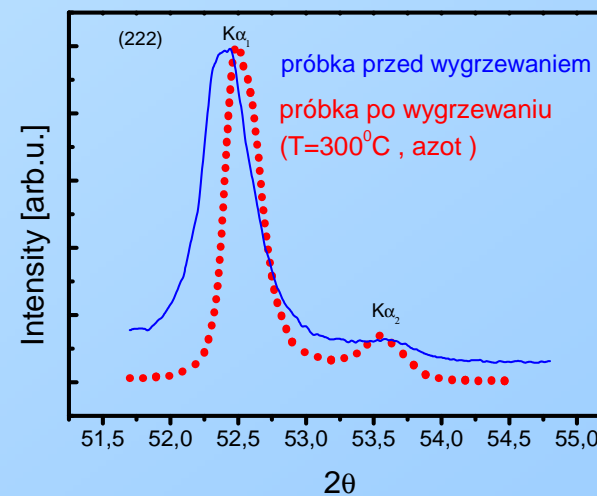
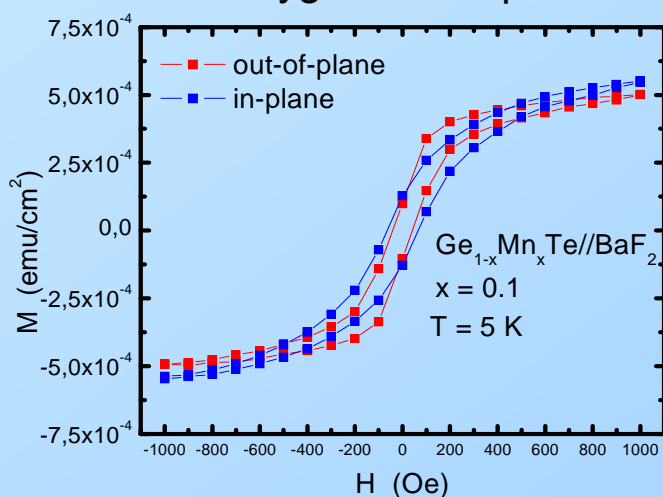
SQUID

XRD, temperatura pokojowa

Przed wygrzewaniem próbki



Po wygrzewaniu próbki



Zaobserwowano poprawę własności strukturalnych i magnetycznych po wygrzewaniu



---

# Wnioski

---

- ✓ Analiza rentgenowska przeprowadzona w temperaturze pokojowej pokazała, że badany półprzewodnik  $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  posiada strukturę romboedryczną (dystorsja sieci NaCl w kierunku (111) )
- ✓ Przejście ferromagnetyczne zostało zaobserwowane dla różnych koncentracji jonów magnetycznych
- ✓ Łatwa oś magnesowania skierowana jest w kierunku prostopadłym do płaszczyzny warstwy
- ✓ Analiza pętli histerezy magnetycznej oraz pomiary namagnesowania w funkcji temperatury dla próbek po wygrzewaniu wykazały zmianę orientacji łatwej osi magnesowania na równoległą do powierzchni warstwy