



Magneto spektroskopia struktur z jonami żelaza na bazie GaN

Jan Suffczyński*, Joanna Papierska*, Jean-Guy Rousset*, Maciej Kozubal*,
Andrzej Golnik*, Wojciech Pacuski*, Jan A. Gaj*, Tomasz Dietl*,**

* *University of Warsaw, Warsaw, Poland*

** *Institute of Physics PAS, Warsaw, Poland*

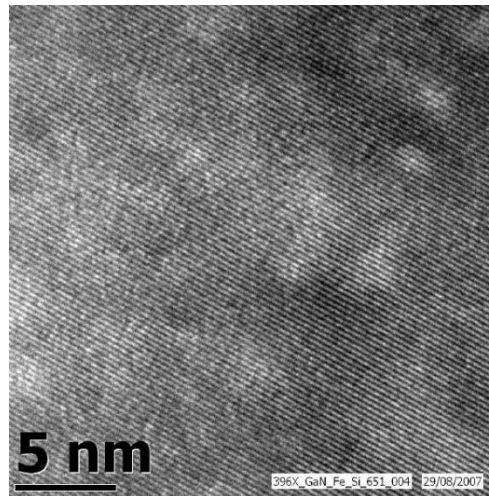
Andrea Navarro-Quezada, Bogdan Faina,
Tian Li, Alberta Bonanni
University of J. Kepler, Linz, Austria



Plan prezentacji

- Wprowadzenie
- Próbki
- Układ eksperymentalny
- Wyniki:
 - Odbicie w polu magnetycznym
 - Odbicie z podświetleniem
 - Niejednorodność próbek
 - Mikro- fotoluminescencja jonów Fe
- Podsumowanie
- Plany

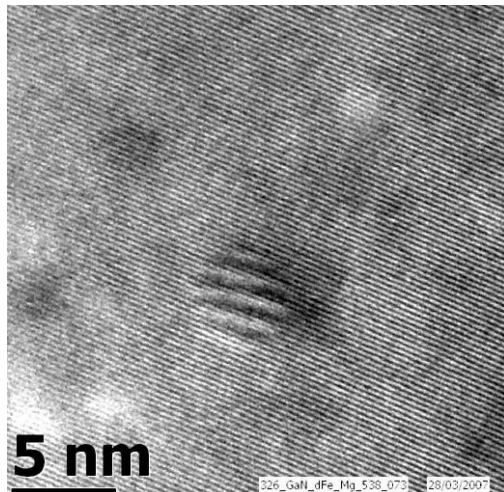
(Ga,Fe)N jako nanokompozyt metal-półprzewodnik



GaN jednorodnie domieszkowany Fe

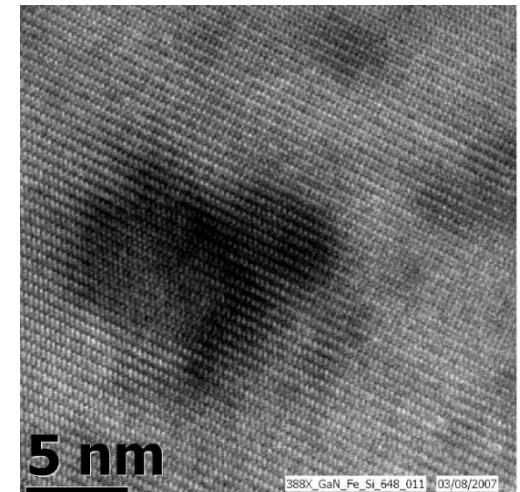
Dobór warunków wzrostu:

- Koncentracja żelaza powyżej granicy rozpuszczalności
- Prędkość wzrostu
- Temperatura wzrostu
- Dodatkowe domieszkowanie (np. Si, Mg)



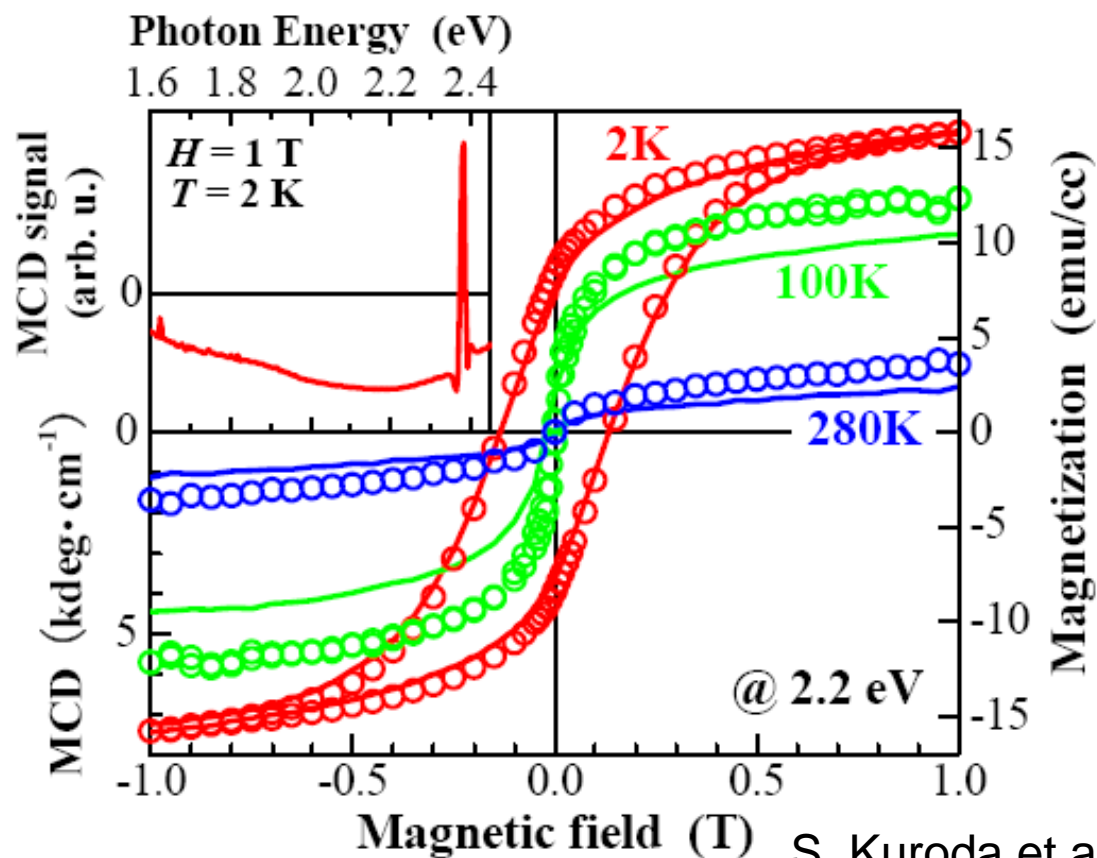
Dekompozycja krystalograficzna

Dekompozycja chemiczna



Metal-półprzewodnik - efekty magnetoptyczne

Przykład: ZnCrTe z metalicznymi nanokryształami Cr



S. Kuroda et al.,
Nature Mat. 2007

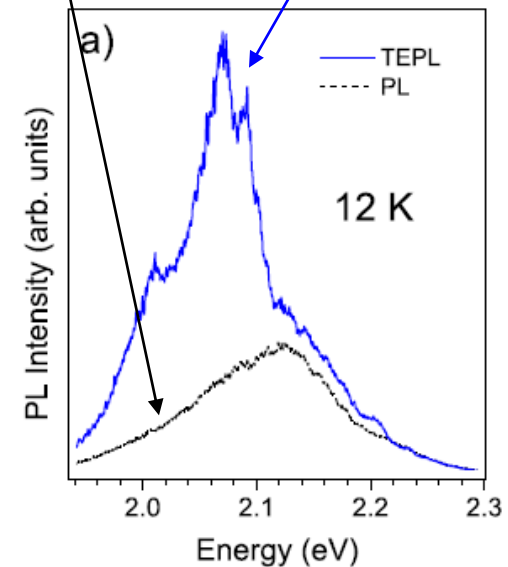
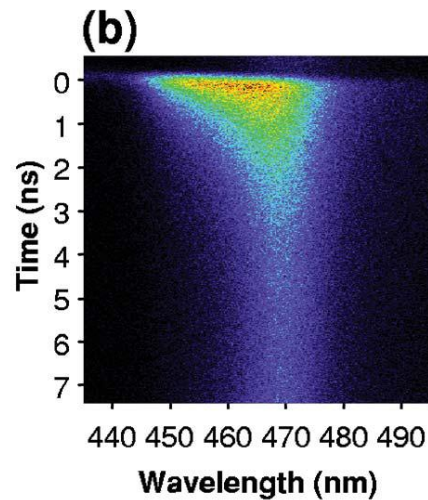
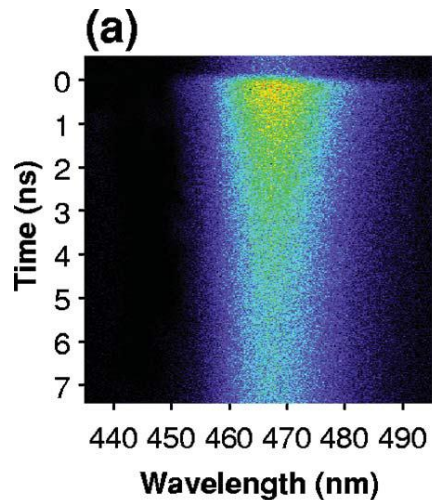
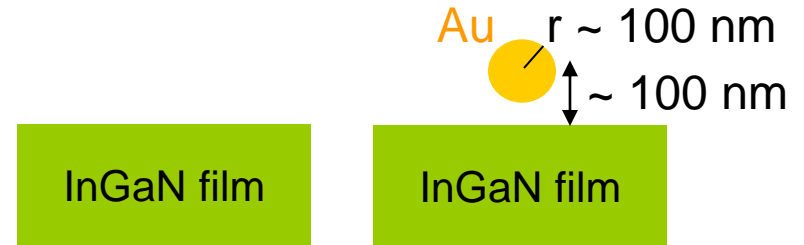
Różnorodność możliwych zastosowań:

- izolatory i modulatory optyczne
- strojone kryształy fotoniczne 3D
- detektory pola magnetycznego
- wstrzykiwanie spinów
-

- Jednakowe zależności MCD i namagnesowania od pola magnetycznego!

Metal-półprzewodnik - efekty plazmonowe

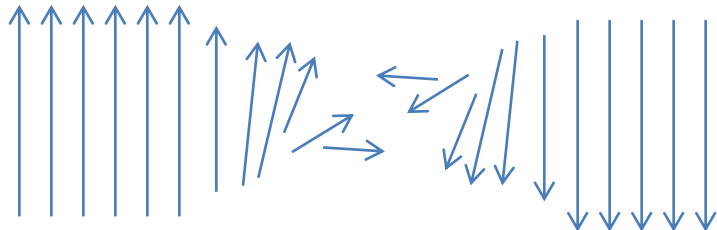
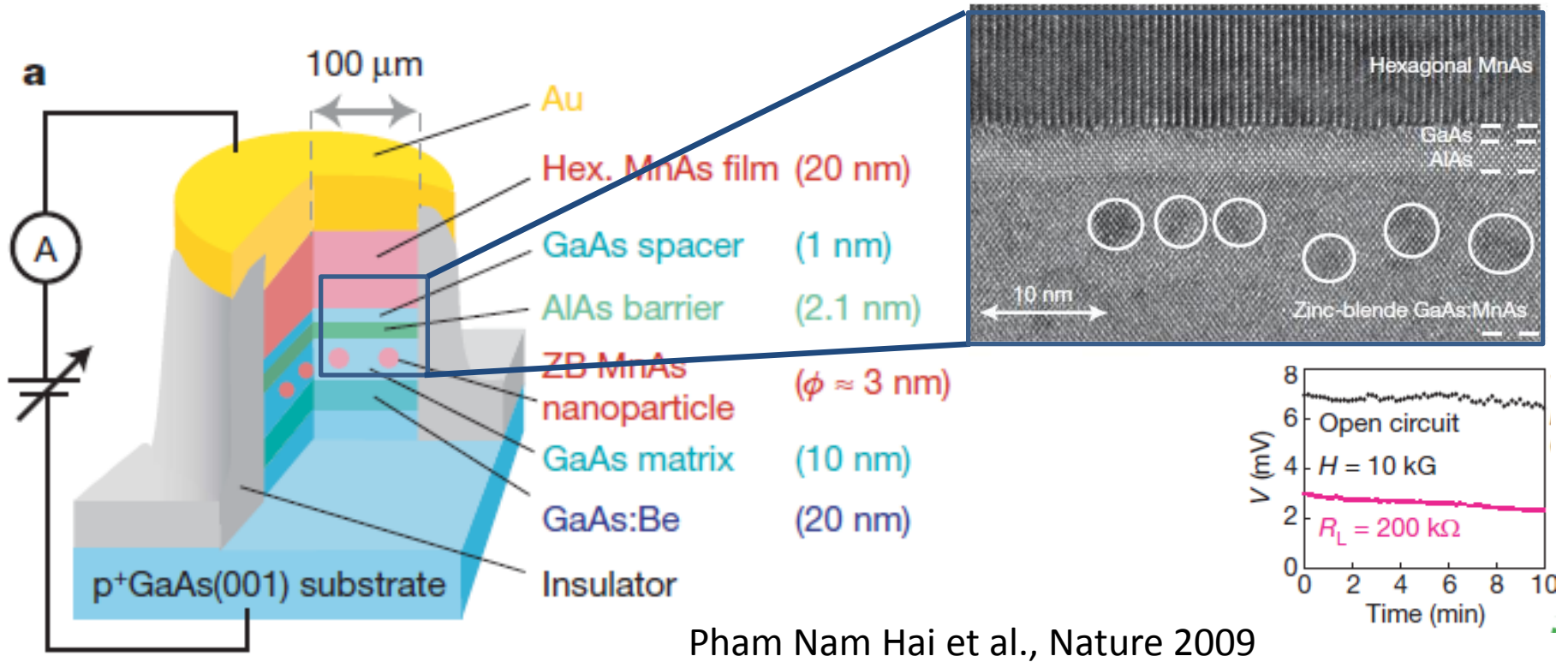
Przyspieszenie emisji z półprzewodnika dzięki sprzężeniu z plazmonami powierzchniowymi



K. Okamoto et al., APL 2005

A. Toropov et al., PRL 2009

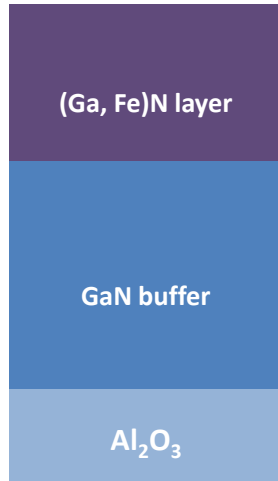
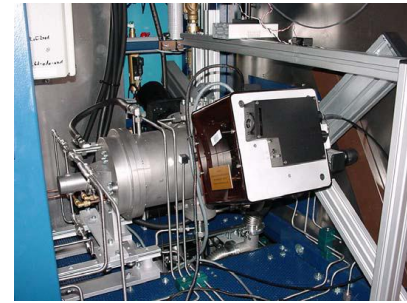
Bateria spinowa



B \Leftrightarrow prąd elektryczny

Próbki

- produkowane metodą MOVPE



Warstwy (Ga,Fe)N

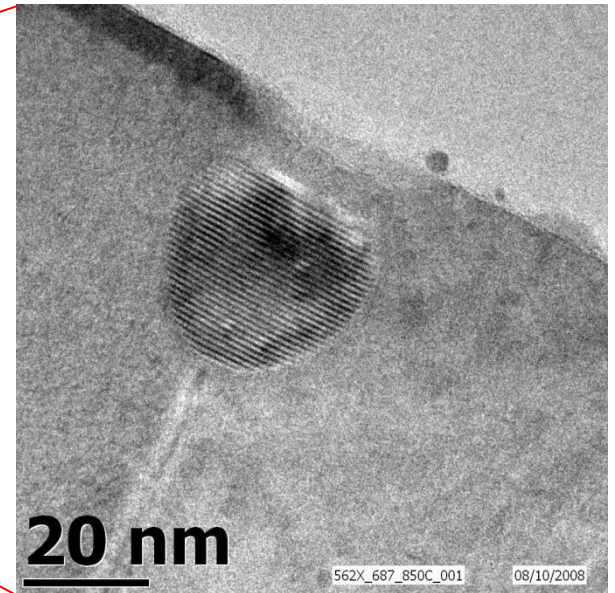
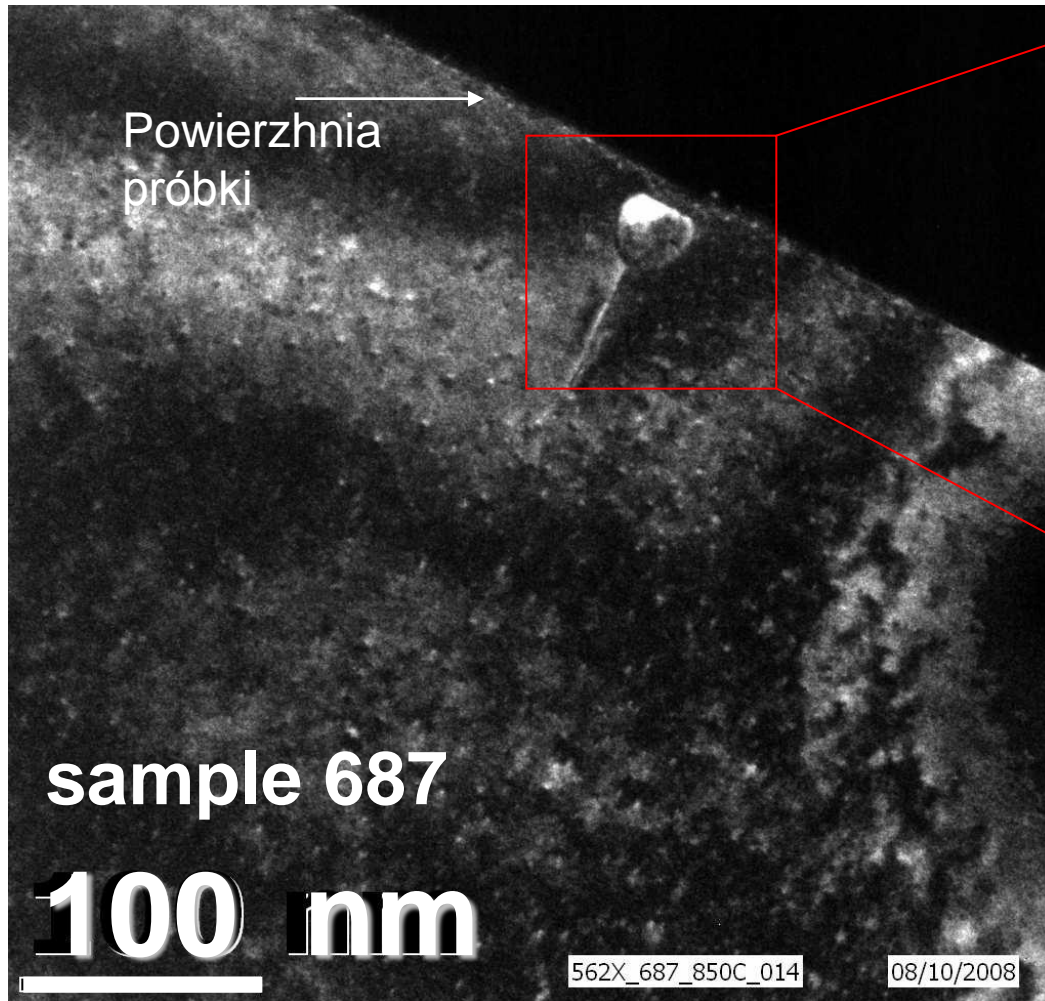
Sample	TMGa (sccm)	Cp2Fe (sccm)	GaN:Fe layer thickness (nm)	Fe _{para} (10 ¹⁹ cm ⁻³)	Fe _{ferro} (10 ¹⁹ cm ⁻³)	T _{growth} (°C)
687	5	300	760	7.6	4.2	850
689	5	100	900	6.2	0.6	800
691	5	300	560	6.4	6.8	950



Studnie kwantowe na bazie GaN

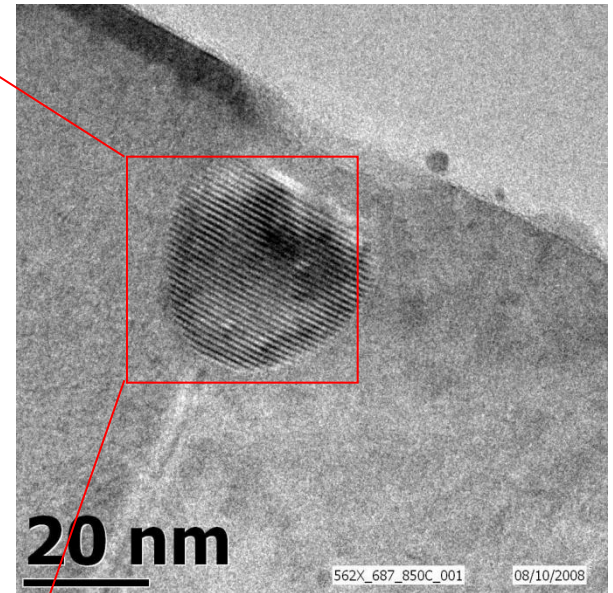
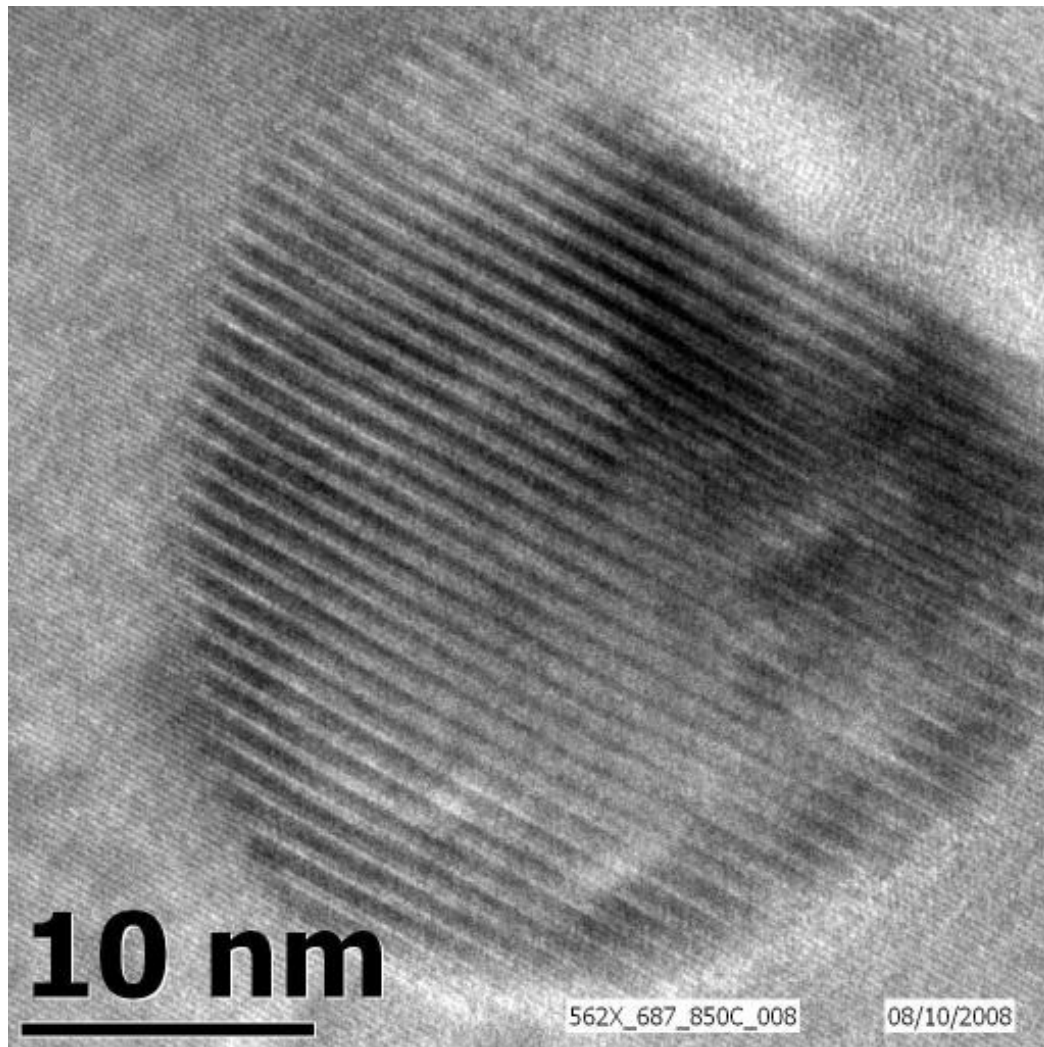
Sample	Structure	Thickness (nm)	GaN cap (nm)	Magn. ion concentr. (10 ²⁰ cm ⁻³)	T _{growth} (°C)
1216	AlGaN/GaN/AlGaN	30/40/30	100	0	820
1218	AlGaN/(Ga,Fe)N/AlGaN	30/40/30	100	1.8	820

Badane próbki - (Ga,Fe)N



Nanokryształy żelaza
widziane w obrazie
TEM

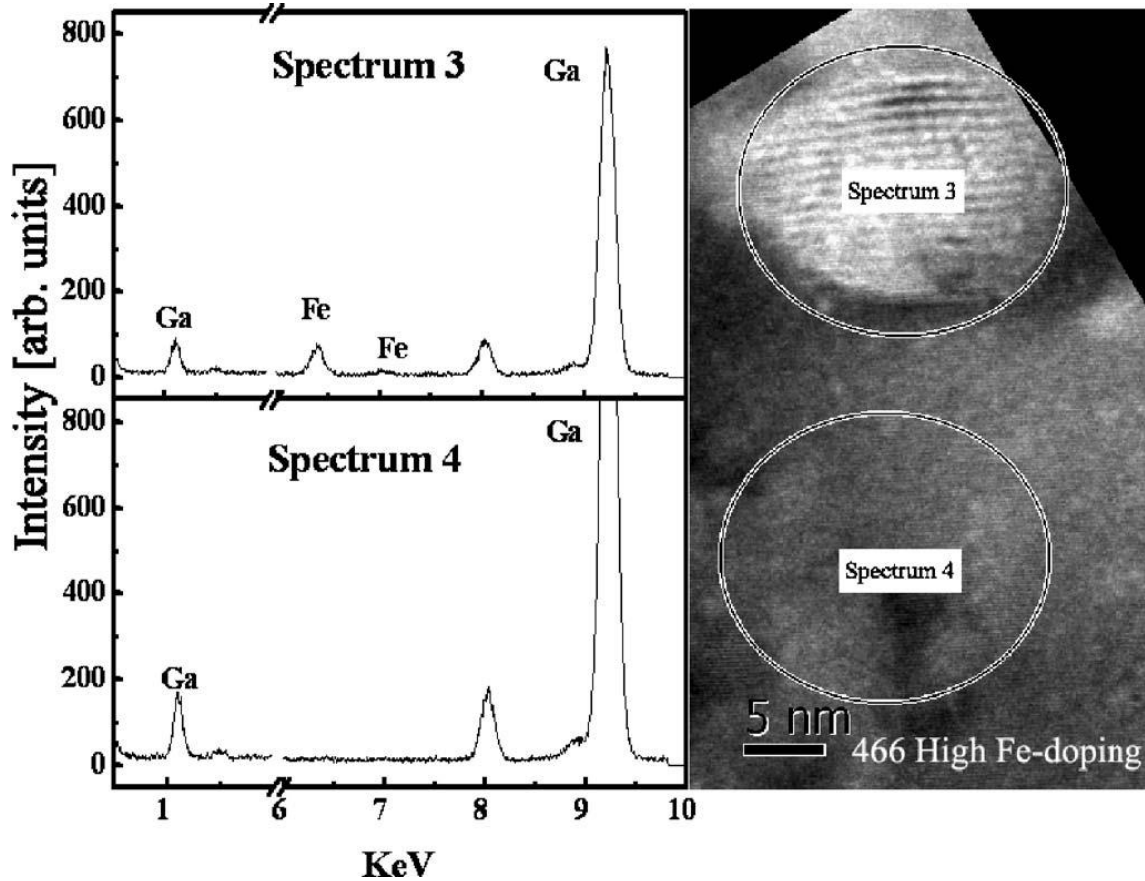
Badane próbki - (Ga,Fe)N



Nanokryształy żelaza
widziane w obrazie TEM
- średnica od 5 do 50 nm

Badane próbki - (Ga,Fe)N

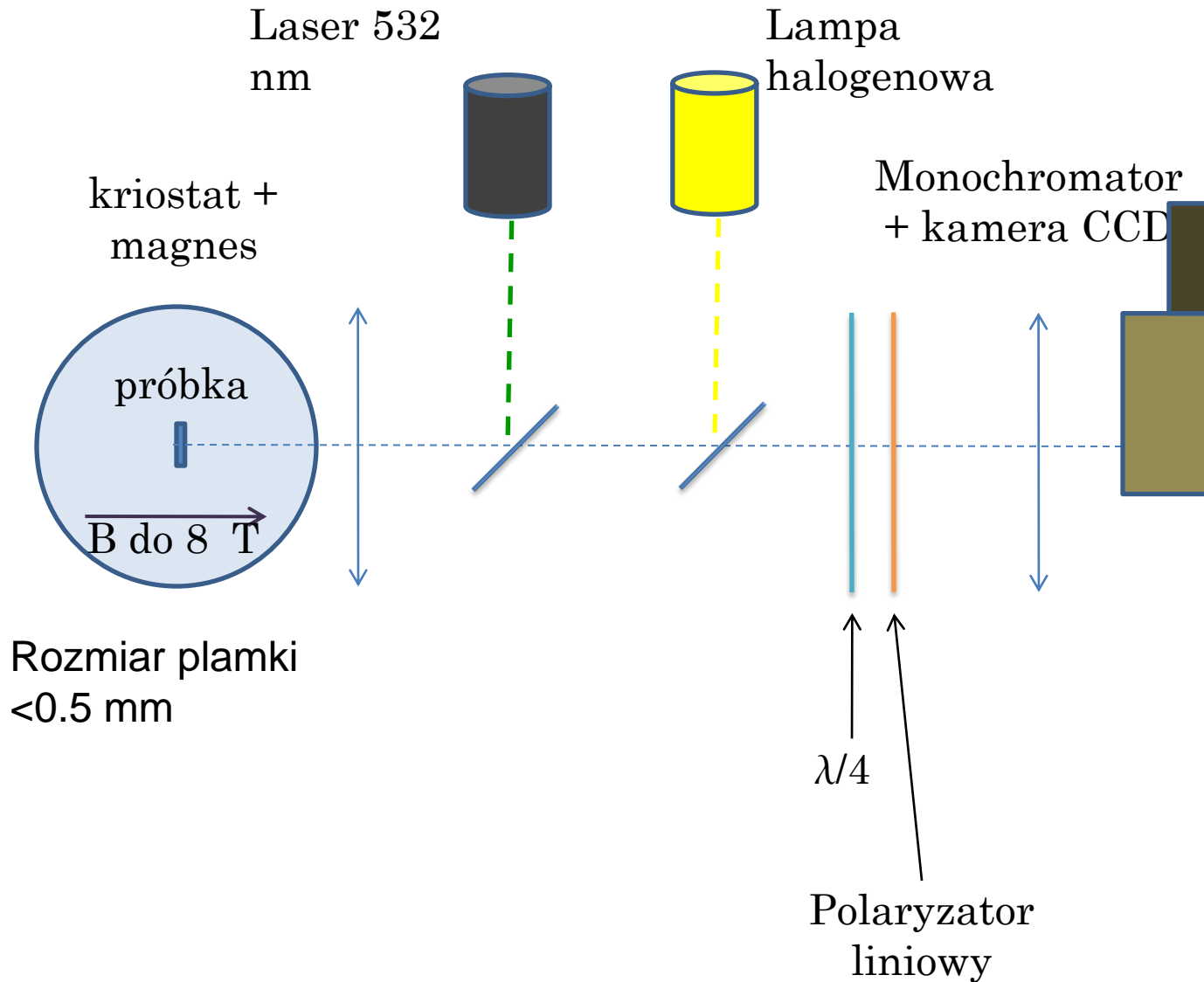
Energy Dispersive x-ray (EDS)



Wysoka zawartość żelaza w wytrąceniach potwierdzona przez pomiar EDS

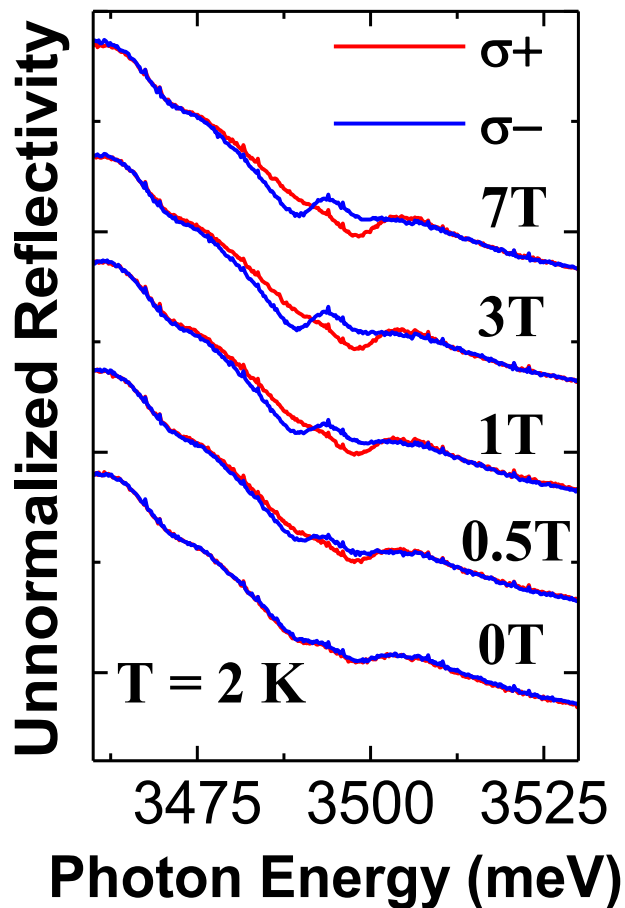
Bonanni et al., PRB'2007

Układ doświadczalny



Widma odbicia w polu magnetycznym i MCD

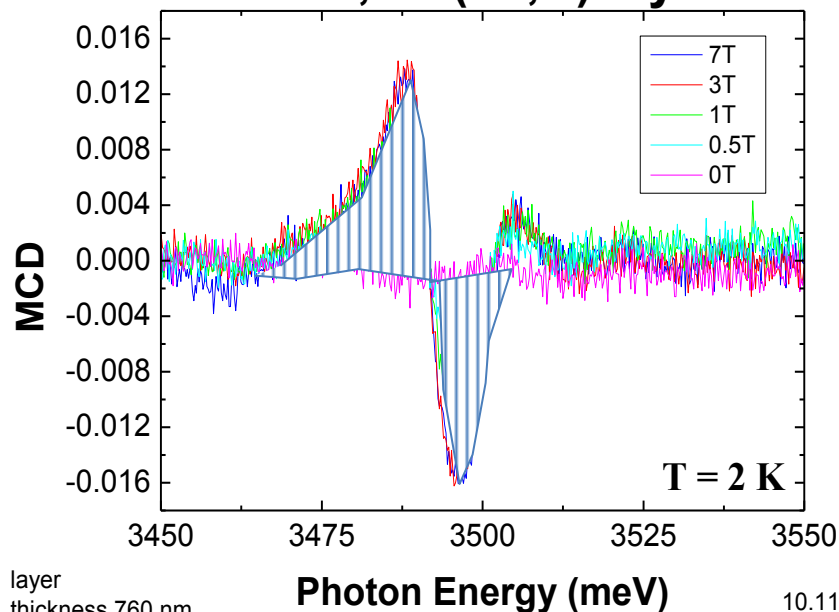
s687, Ga(Fe,N) layer



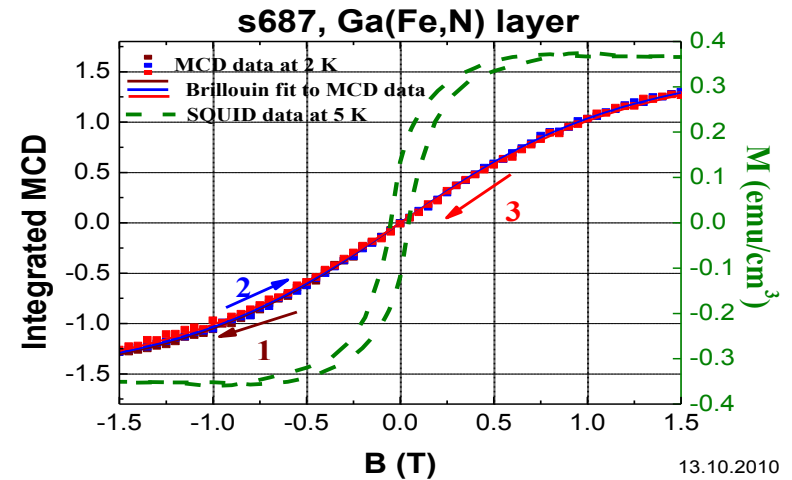
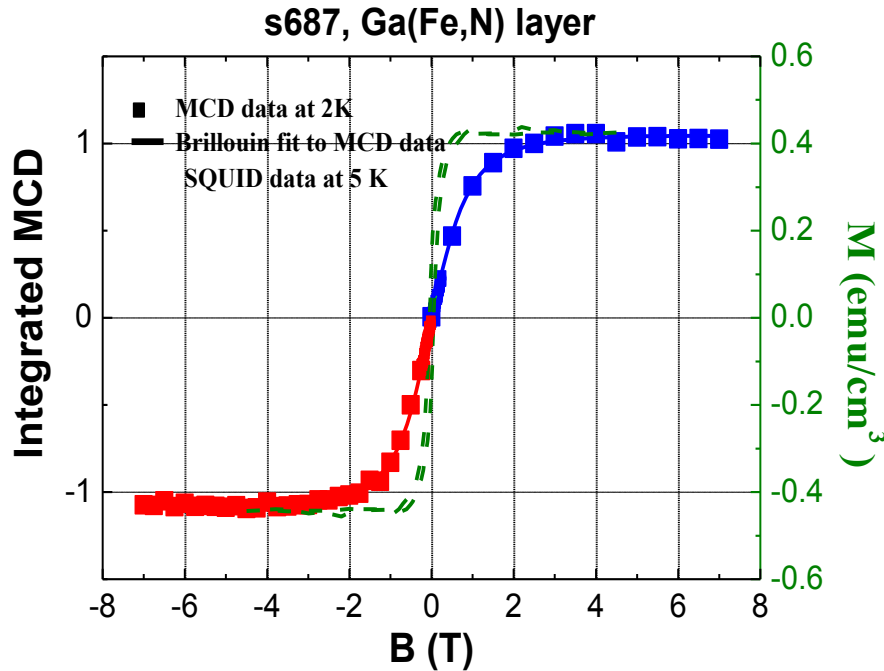
Dwuchroizm kołowy (MCD)
jako miara namagnesowania:

$$MCD = \frac{I_{\sigma+} - I_{\sigma-}}{I_{\sigma+} + I_{\sigma-}}$$

s687, Ga(Fe,N) layer



Natężenie MCD w funkcji pola magnetycznego – próbka z wytrąceniami Fe

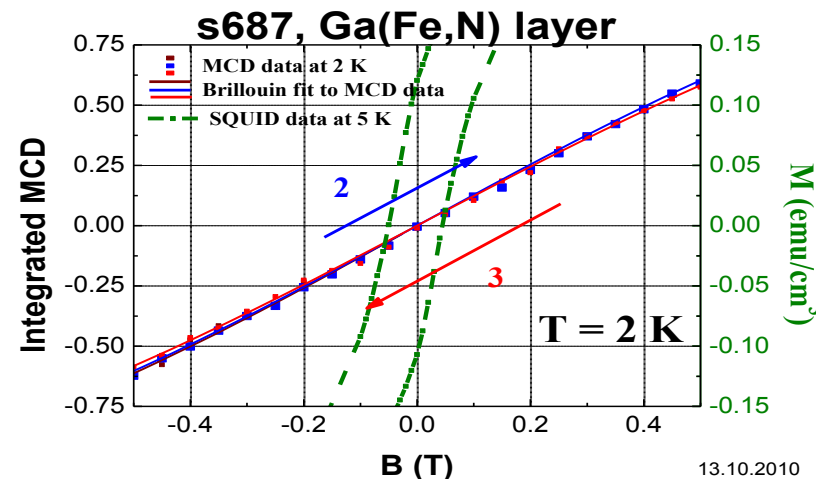


13.10.2010

Próbka z wytrąceniami:

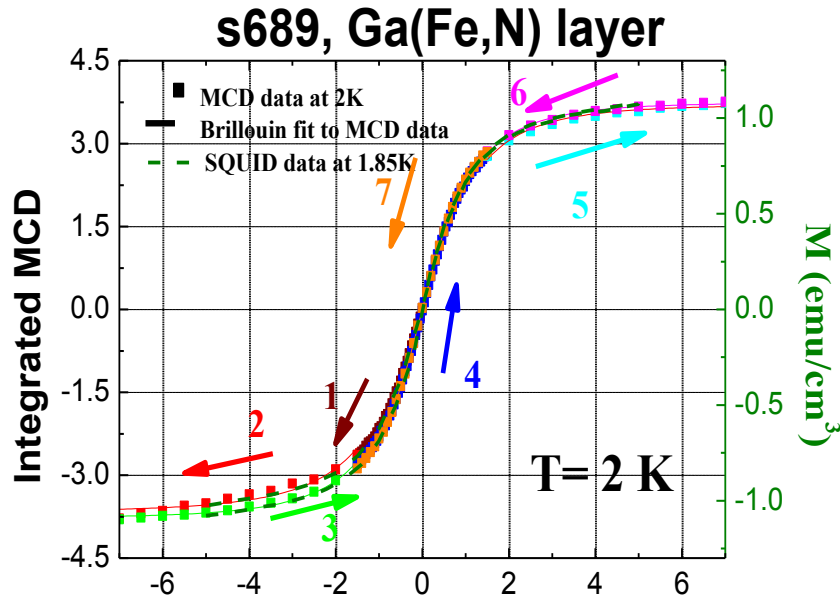
Natężenie MCD

- nie wykazuje szybkiego nasycenia i histerezy obserwowanej w pomiarze namagnesowania
- opisywane paramagnetyczną funkcją Brillouina

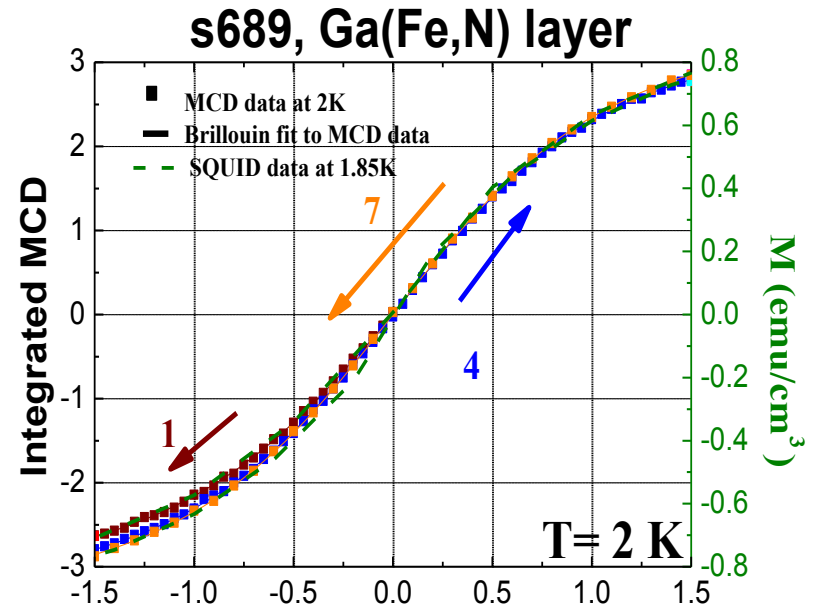


13.10.2010

Natężenie MCD w funkcji pola magnetycznego – próbka bez wytrąceń Fe



14.10.2010



14.10.2010

Pomiar SQUID: W. Stefanowicz, IF PAN

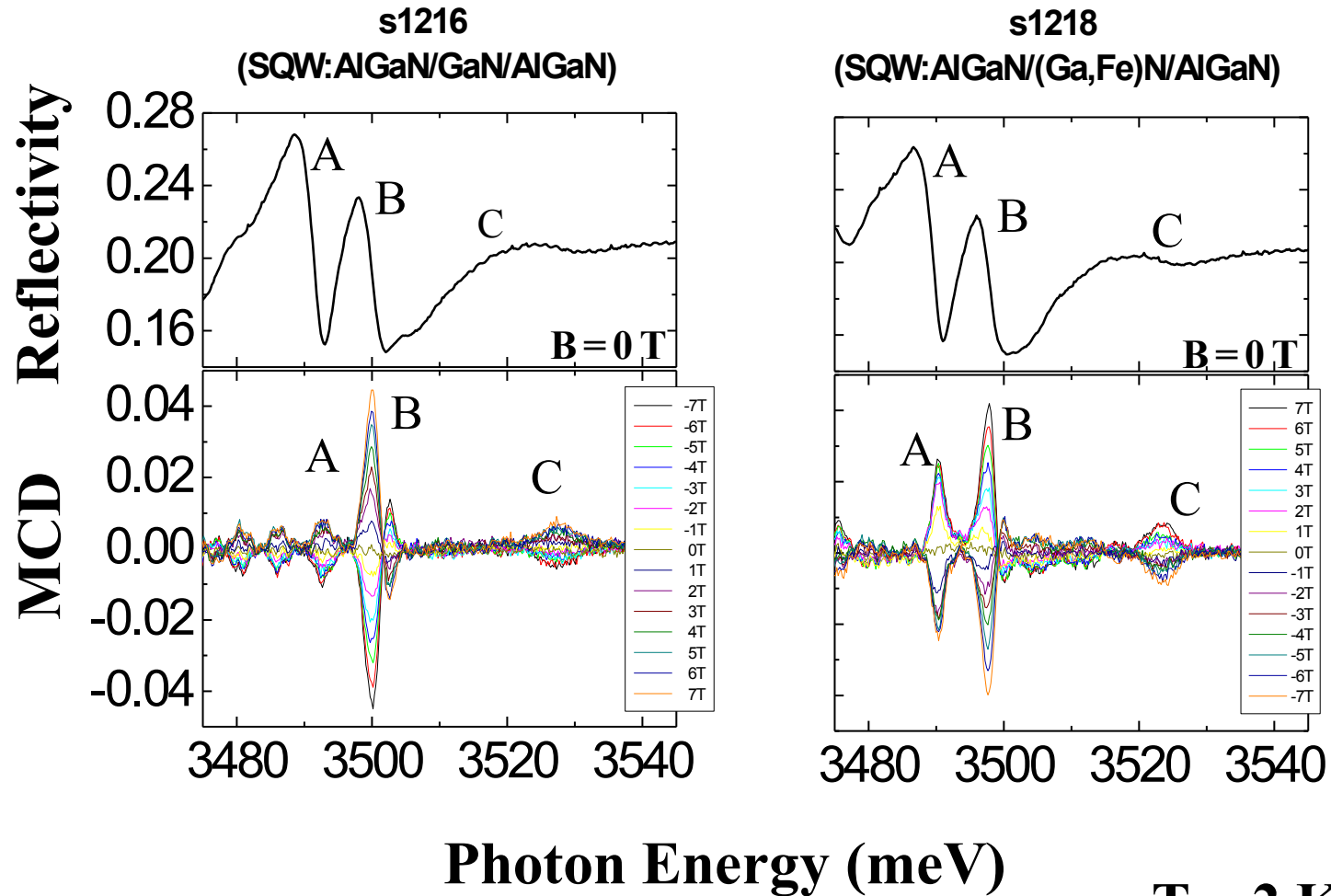
Próbka bez wytrąceń:

- Zgodność między namagnesowaniem określonym optycznie i magnetometrycznie
- Opis namagnesowania paramagnetyczną funkcją Brillouina

Wnioski:

- Wkład od wytrąceń Fe odpowiada za niezgodność między namagnesowaniem określonym magnetometrycznie i magneto optycznie
- Nośniki pasmowe nie sprzęgają się poprzez oddziaływanie wymienne z wytrąceniami Fe

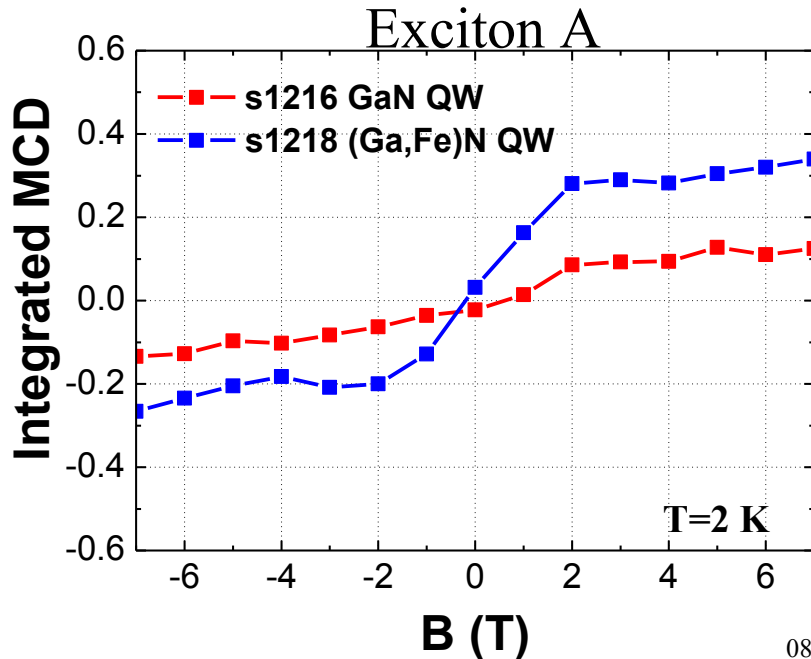
MCD struktur ze studniami GaN i (Ga,Fe)N



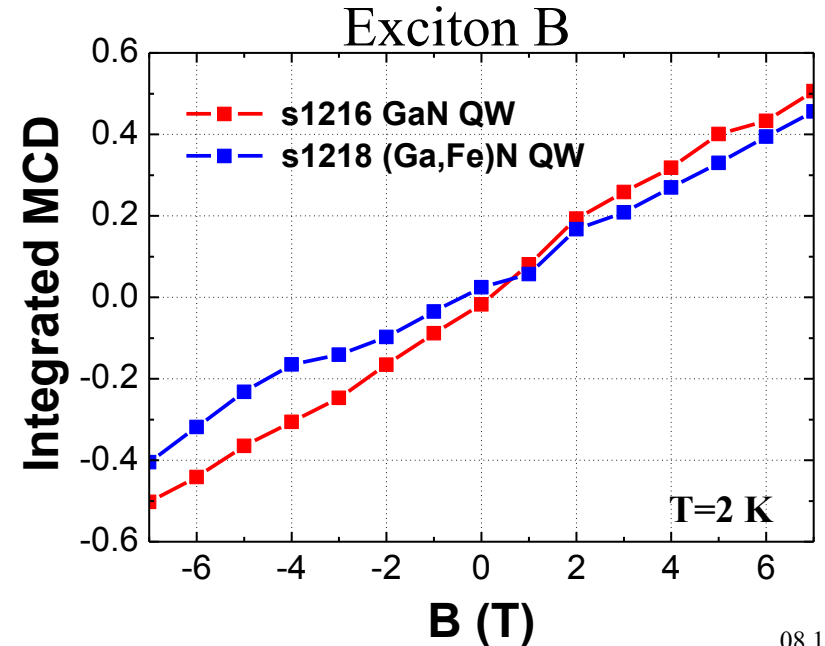
T = 2 K

- Niezerowe natężenie MCD w rejonie spektralnym ekscytonów A, B i C
- Szerokie studnie →
- Słaby wpływ związania kwantowego na energię poziomów w studni

Natężenie MCD w funkcji pola B



08.10.2010

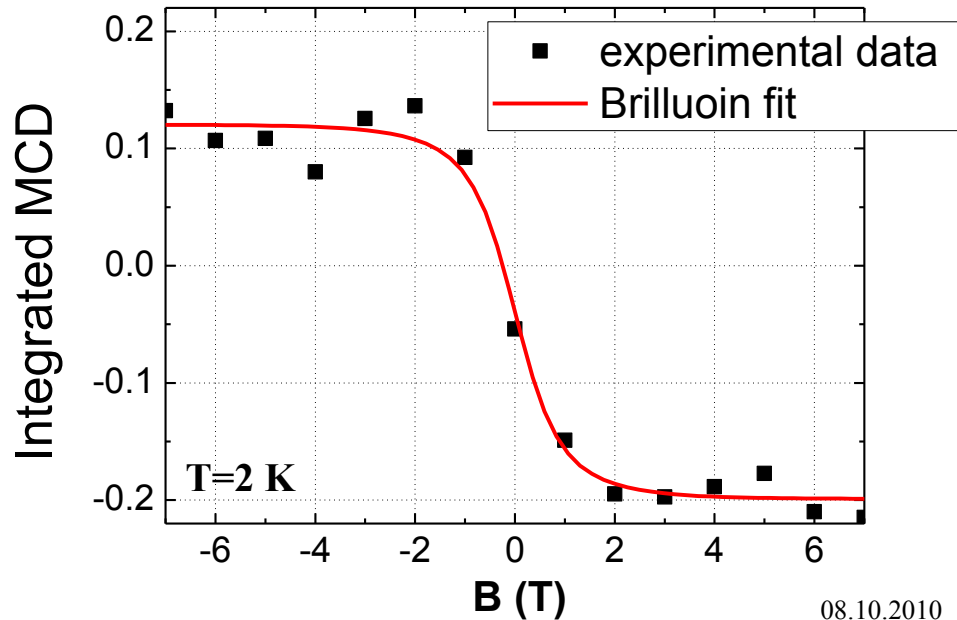


08.10.2010

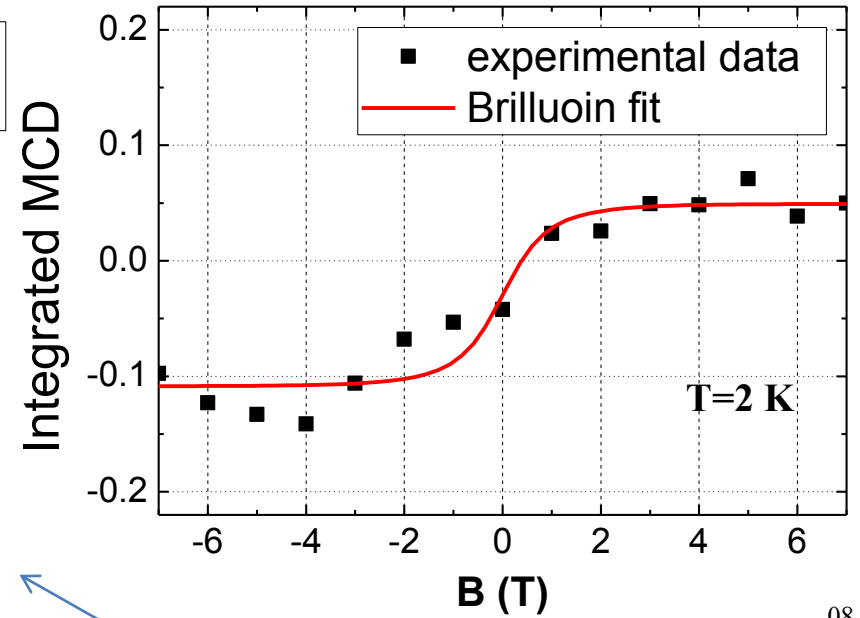
- Dwa wkłady do sygnału MCD w obszarze ekscytonowym:
 - dominujący od bufora GaN
 - od studni GaN
- MCD silniejsze w przypadku struktury ze studnią (Ga,Fe)N niż ze studnią GaN

Obserwacja oddziaływania s,p-d

Exciton A



Exciton B



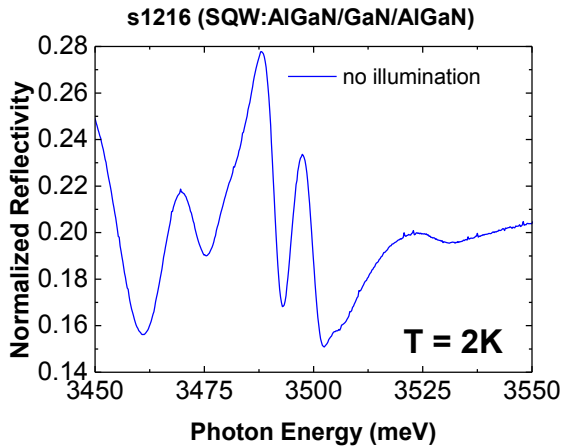
Rozszczepienie ekscytynu A proporcjonalne do: $N_0\beta - N_0\alpha = 0.4 \pm 0.2$ eV

Rozszczepienie ekscytynu B proporcjonalne do: $N_0\alpha - N_0\beta = -0.4 \pm 0.2$ eV
/Pacuski et al., PRL'08/

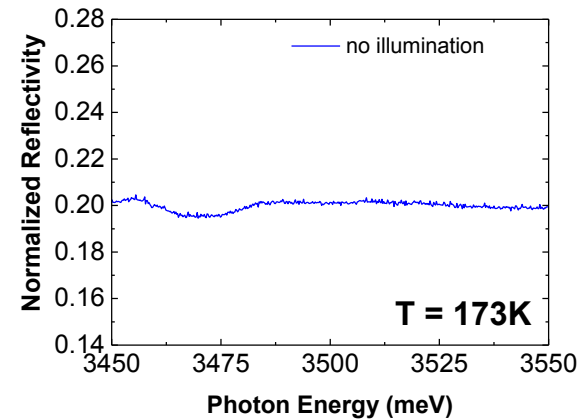
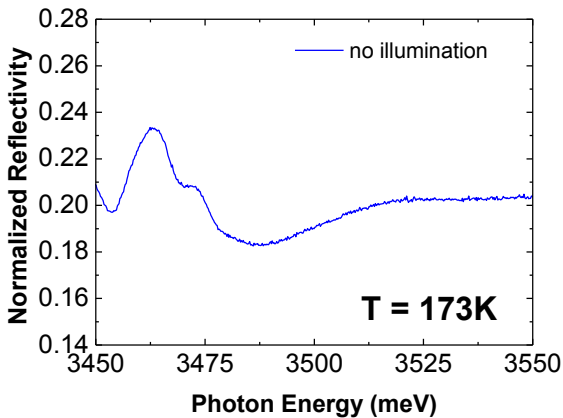
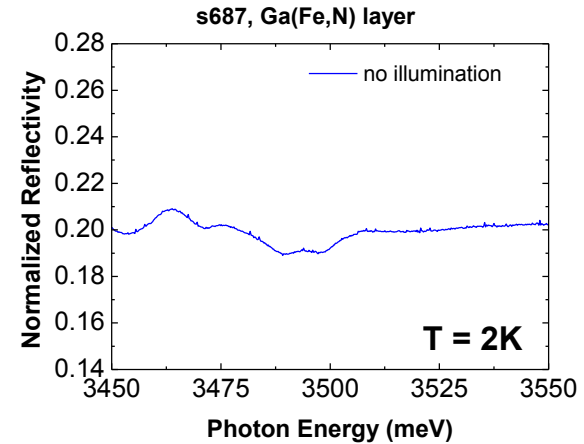
Udało się zobaczyć sygnał od studni o szerokości 40 nm

Wpływ podświetlenia na widmo odbicia

Struktura ze studnią

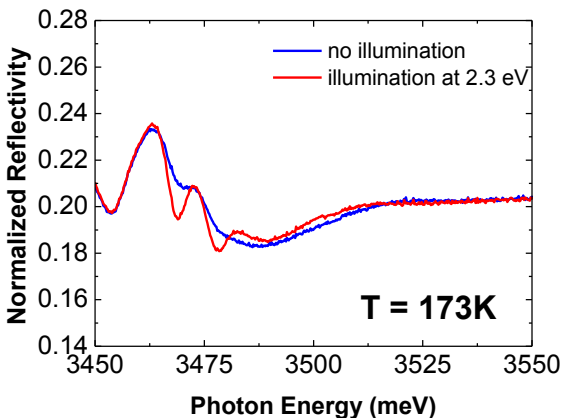
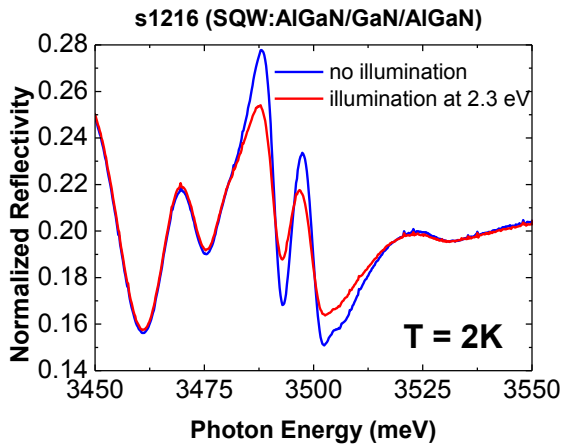


Warstwa

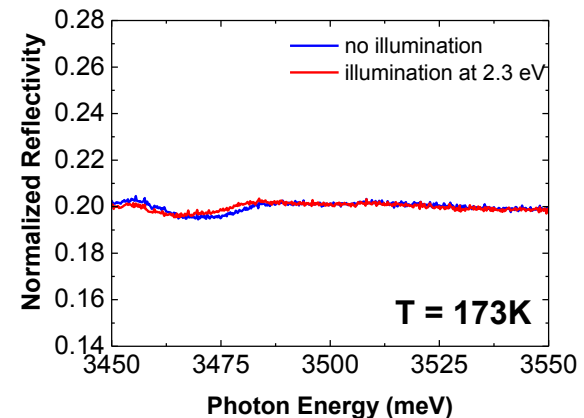
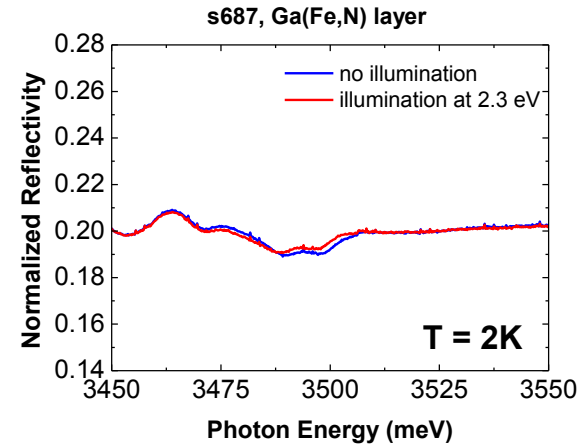


Wpływ podświetlenia na widmo odbicia

Struktura ze studnią



Warstwa

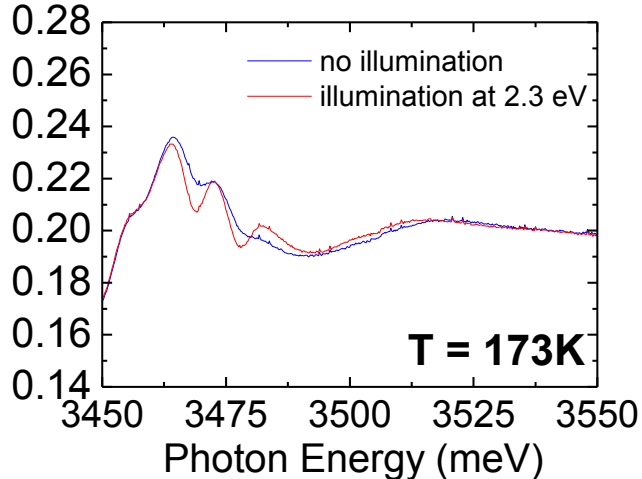
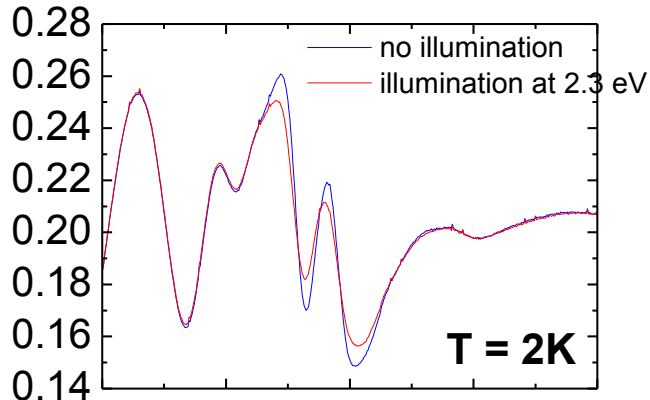


- efekt podświetlenia silniejszy w przypadku struktury ze studnią kwantową niż w przypadku warstwy

Wpływ podświetlenia na widmo odbicia

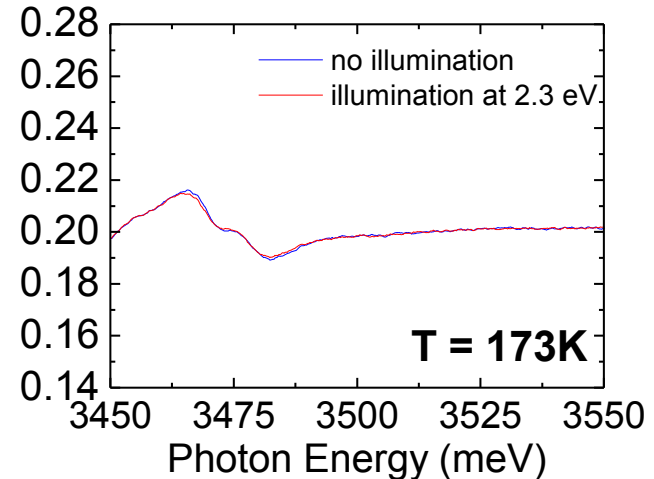
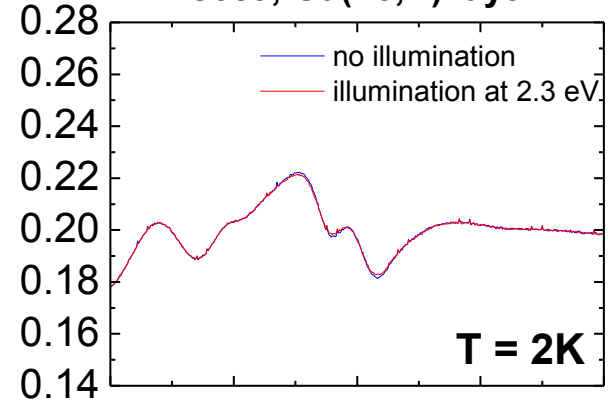
Struktura ze studnią

s1218 (SQW:AlGa_N/Ga(Fe,N)/AlGa_N)



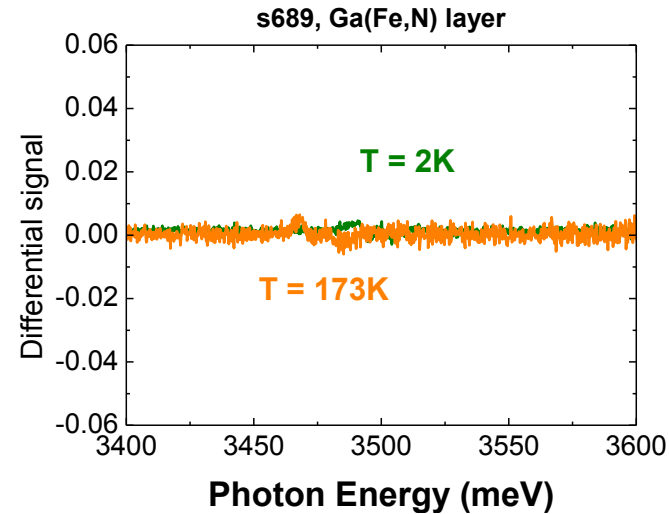
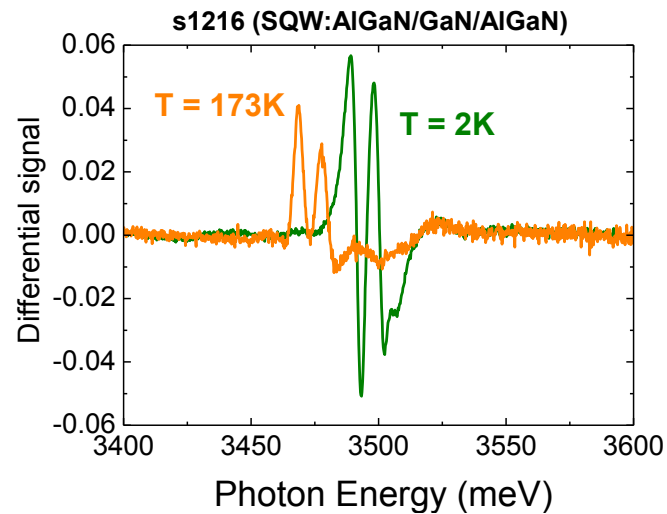
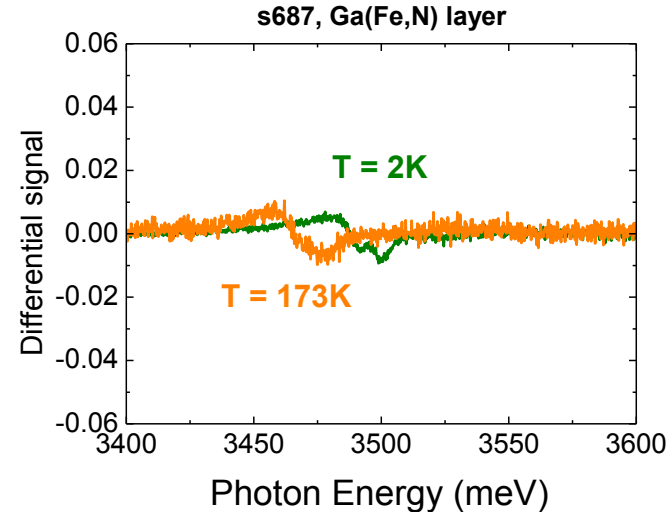
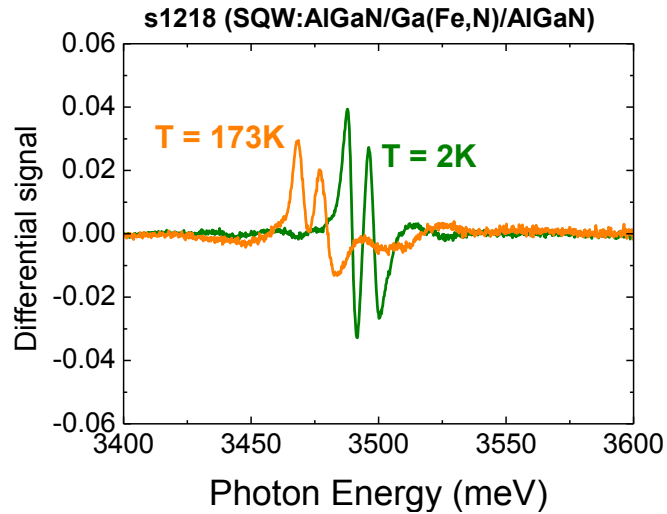
Warstwa

s689, Ga(Fe,N) layer



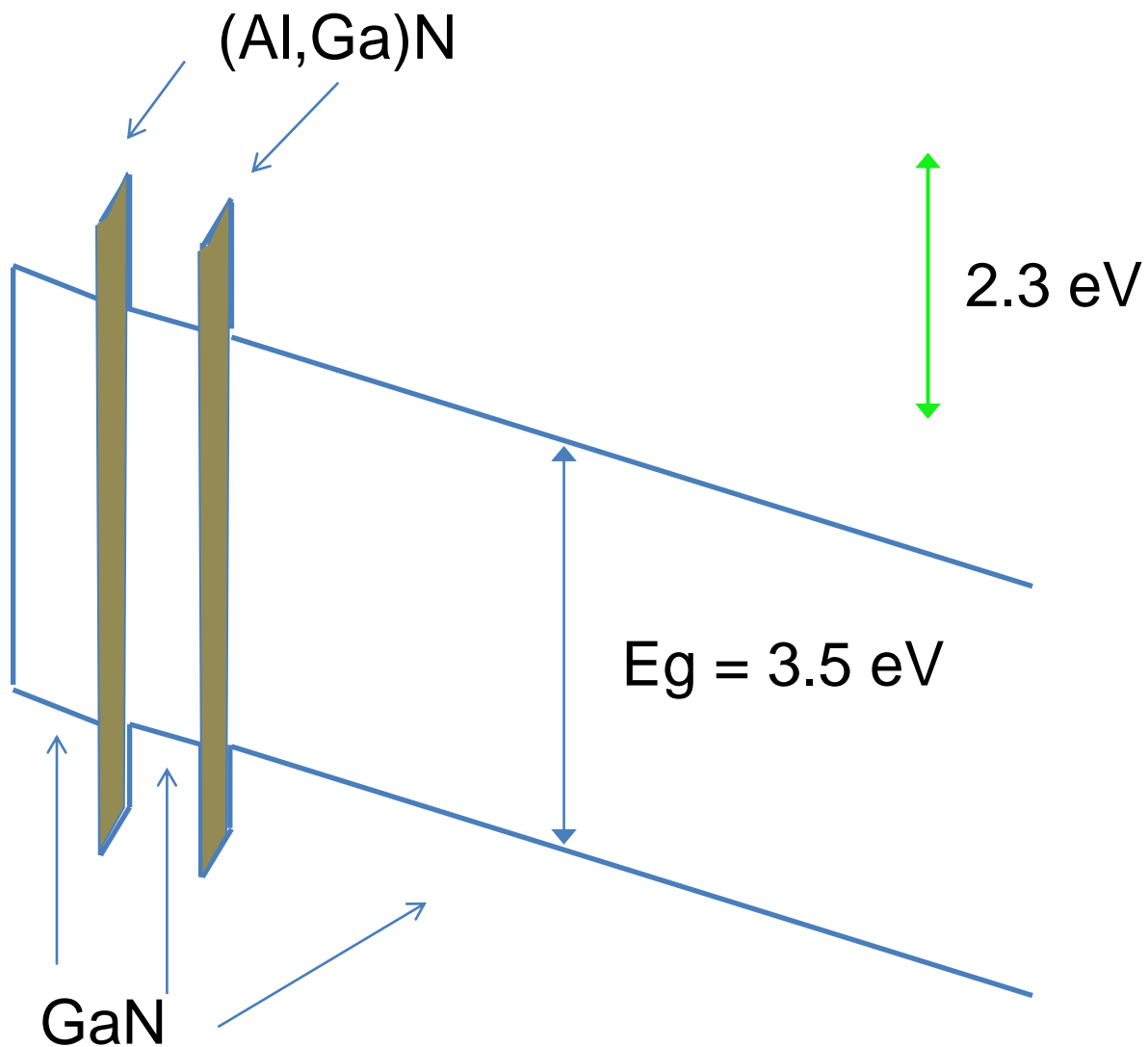
- podświetlanie w $T = 2\text{K}$ zmniejsza, a w $T = 173\text{K}$ zwiększa intensywność przejść ekscytonowych

Wpływ podświetlenia na widmo odbicia

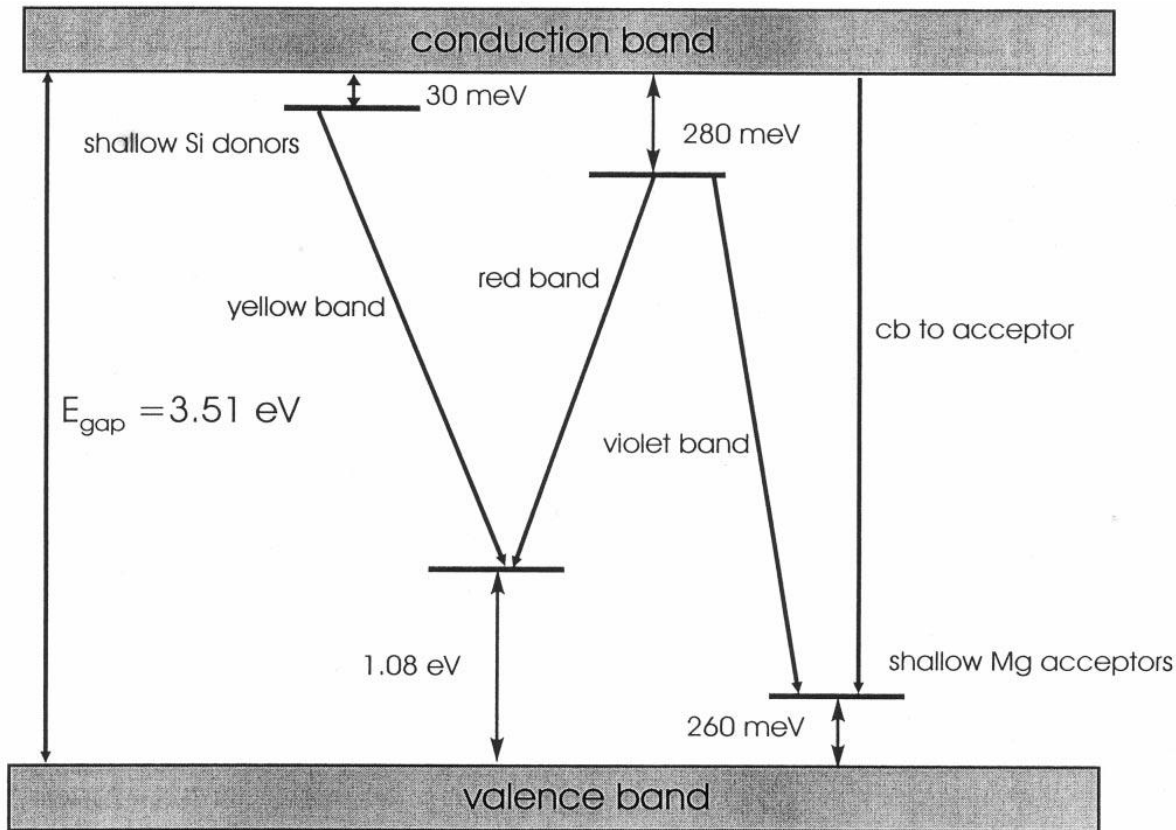


- Natężenie efektu podświetlenia większe w T = 2 K niż w T = 173 K

Struktura energetyczna próbek ze studniami



Domieszki w GaN



Meyer et al., PRB'2000

Mechanizm wpływu podświetlania pod przerwą na widmo odbicia:

Fotoaktywacja nośników z płytkich stanów domieszkowych

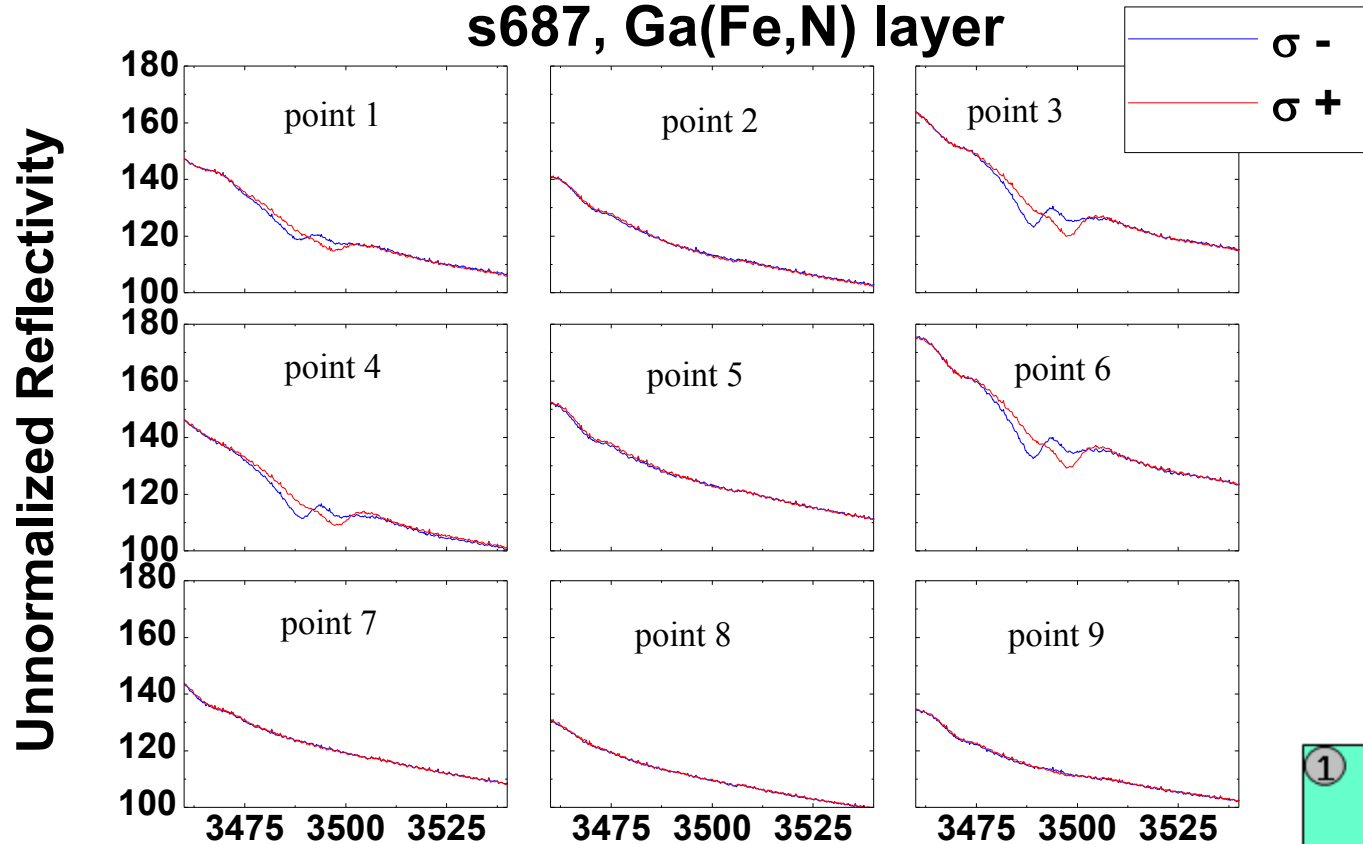
„Wyganianie” nośników ze studni

Neutralizacja nośników rezydujących w studni (studniach na międzypowierzchniach GaN/AlGaN

W niskiej temperaturze blokowanie (części) procesów fotojonizacyjnych?

Niejednorodność warstw (Ga,Fe)N w skali sub-mm

s687, Ga(Fe,N) layer

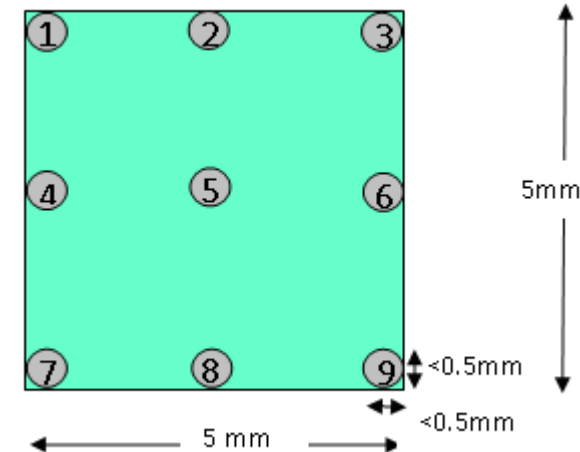


T = 2 K

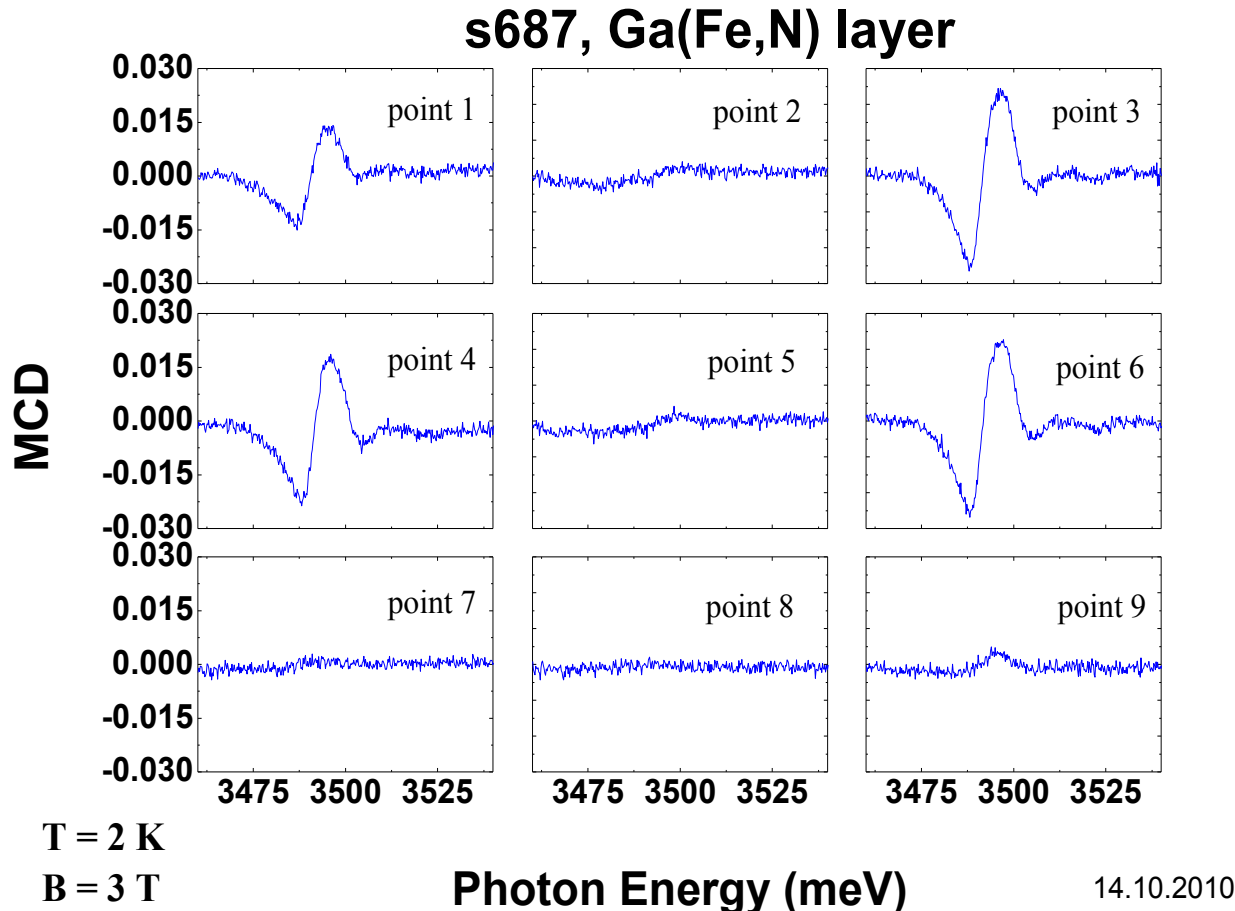
B = 3 T

Photon Energy (meV)

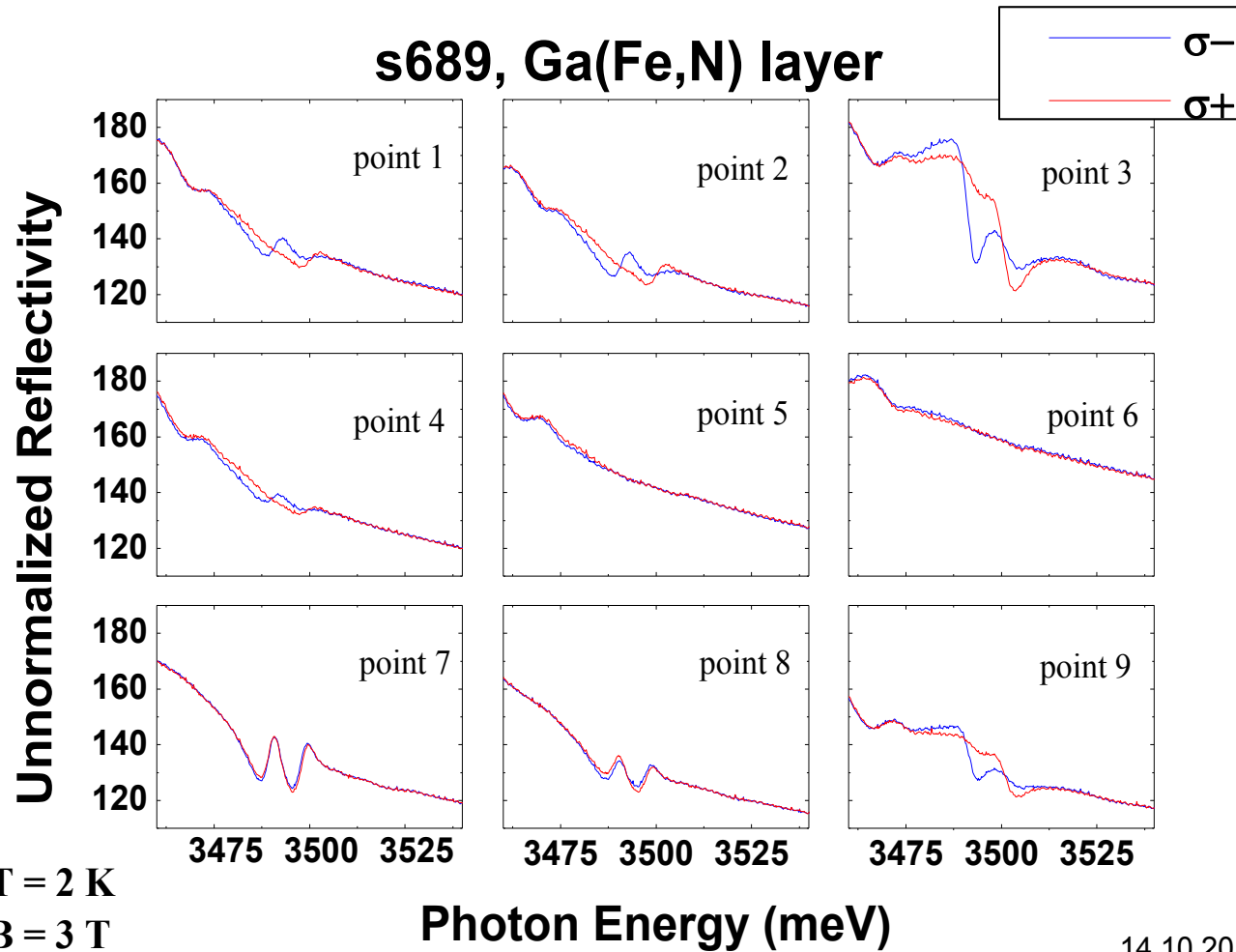
Kształt widma odbicia w obszarze ekscytonowym i rozszczepienie Zeemana zależy od położenia na próbce



Niejednorodność warstw (Ga,Fe)N w skali sub-mm

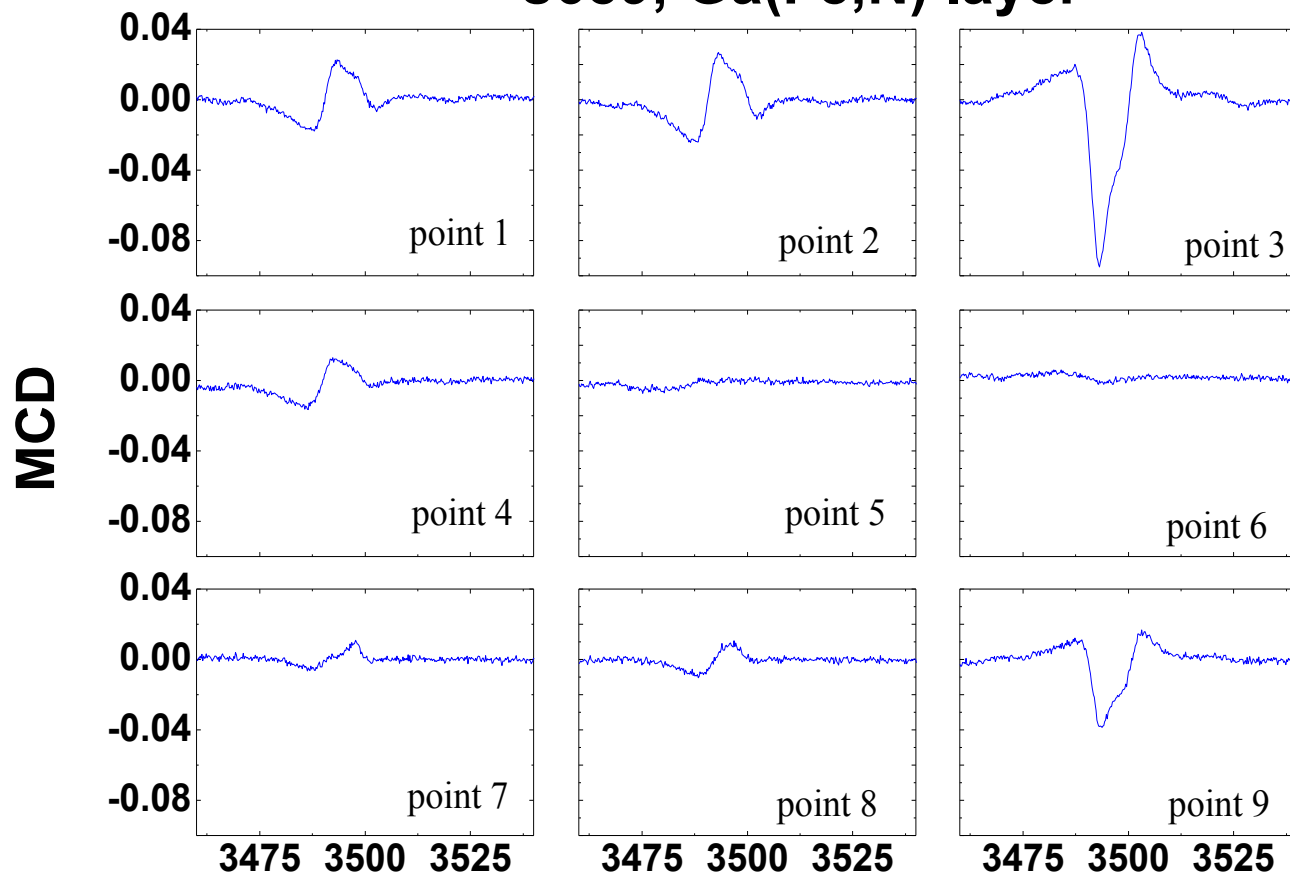


- Kształt i natężenie MCD w obszarze ekscytonowym zależy od położenia na próbce:
- Niejednorodny rozkład izolowanych jonów żelaza w warstwie



- Brak korelacji między rozszczepieniem , a intensywnością przejść ekscytonowych
- Najsilniejsze przejścia ekscytonowe na brzegach próbki: rola brzegów próbki?

s689, Ga(Fe,N) layer



$T = 2 \text{ K}$

$B = 3 \text{ T}$

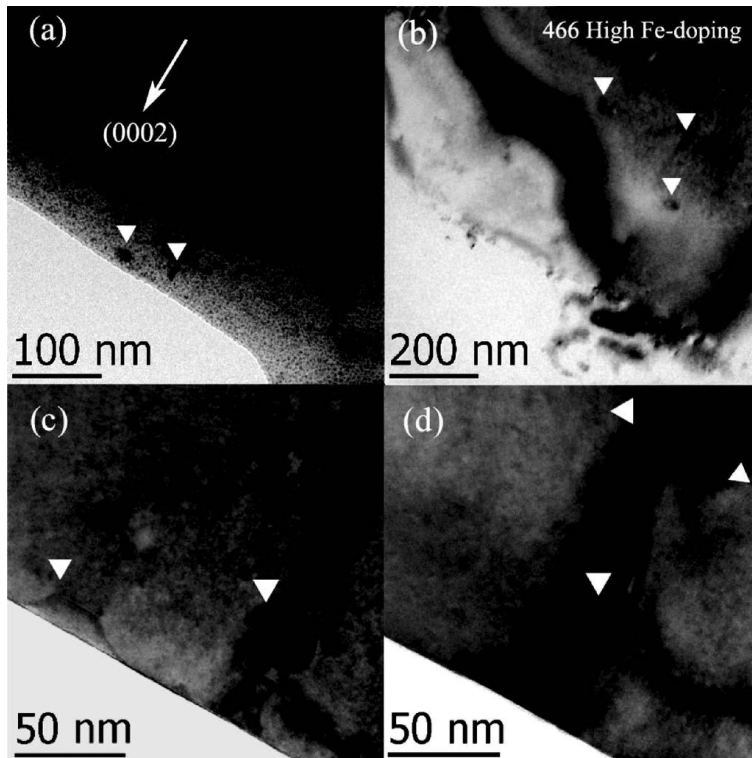
Photon Energy (meV)

14.10.2010

Lokalne fluktuacje intensywności przejść ekscytonowych:

- obniżona jakość struktury?
- wbudowane pole elektryczne?

Niejednorodność warstw (Ga,Fe)N w skali sub- μm

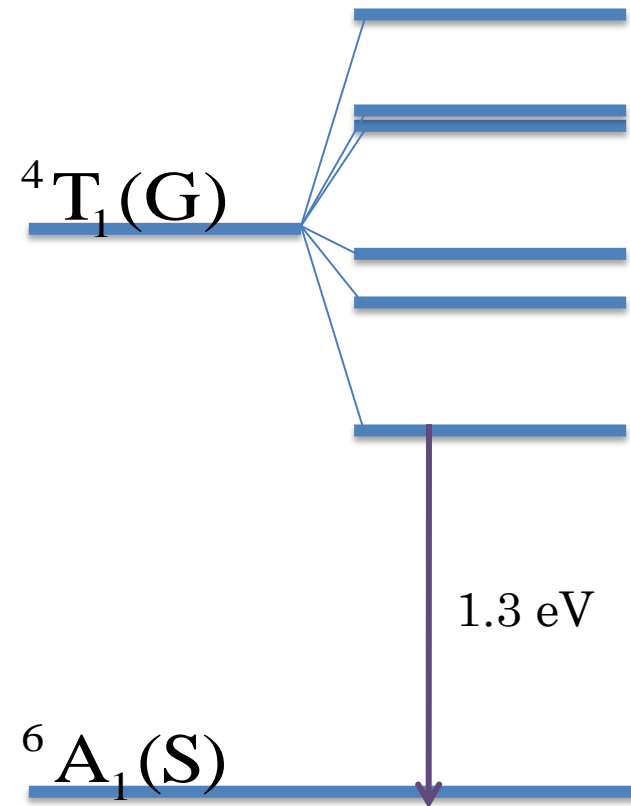
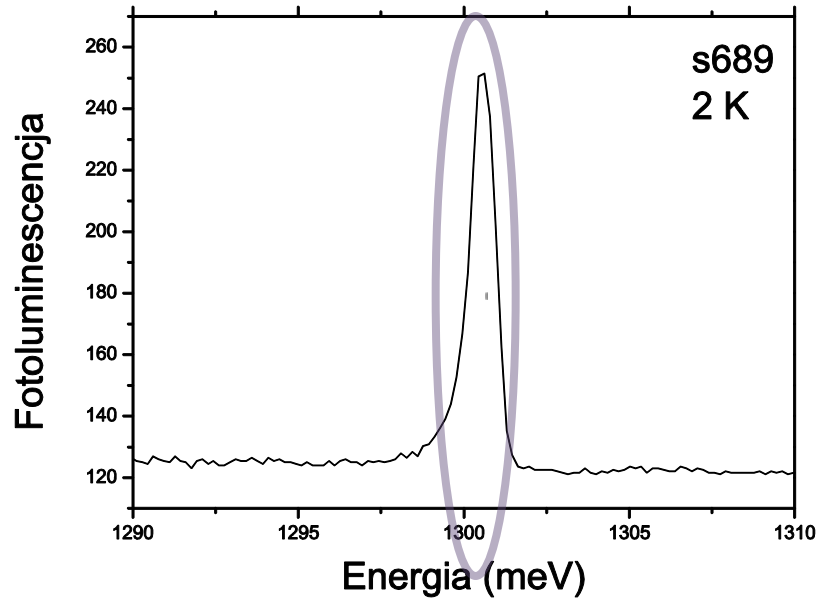


Bonanni et al., PRB'2007

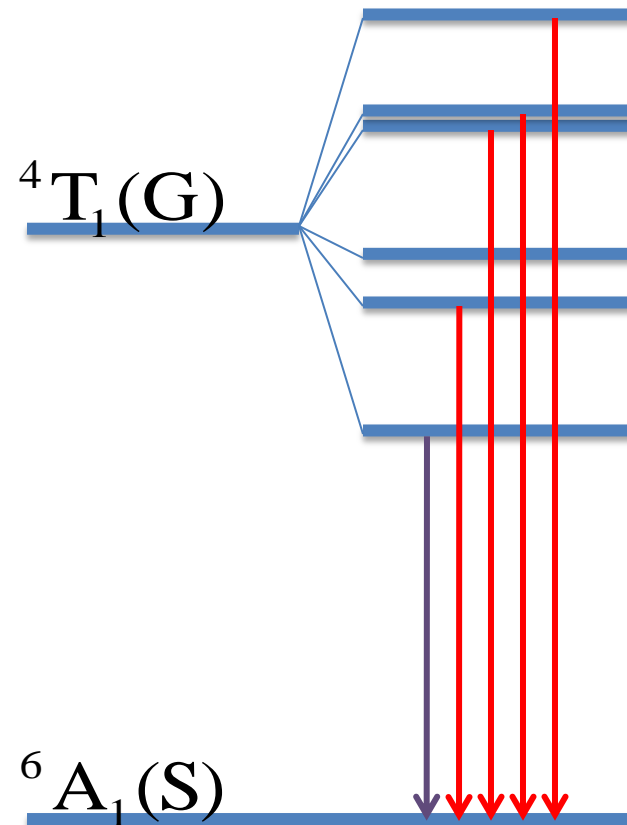
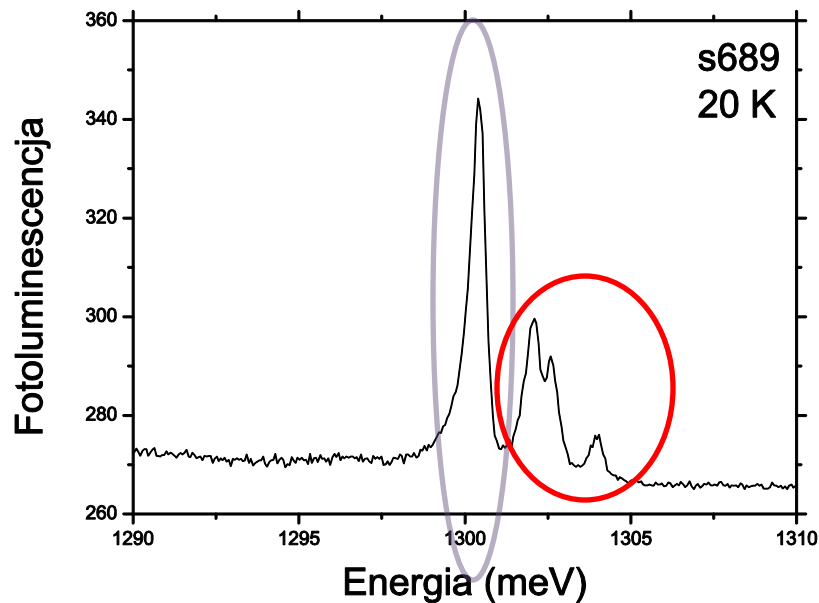
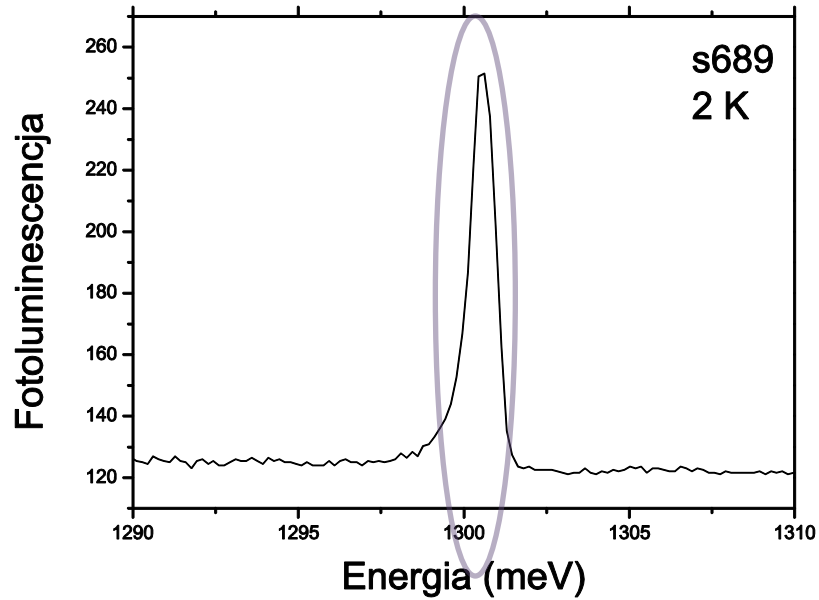
Hipoteza: agregacja jonów Fe w nanokryształy powadzi do lokalnego obniżenia koncentracji izolowanych jonów

Test: rozdzielona przestrzennie luminescencja izolowanych jonów

Przejście wewnątrzjonowe Fe widziane w fotoluminescencji



Przejście wewnątrzjonowe Fe widziane w fotoluminescencji



Jednorodność w skali sub- μm

- Mapy mikro-PL

Podsumowanie

- Nośniki pasmowe nie sprzęgają się poprzez oddziaływanie wymienne z wytrąceniami Fe w GaN
- Wydajna regulacja koncentracji nośników w strukturach GaN/AlGaN poprzez podświetlanie w energii poniżej przerwy
- Zaobserwowano niejednorodność próbek w skali sub-mm

Plany

- Kontrola sprzężenia między jonami magnetycznymi w półmagnetycznych studniach kwantowych poprzez podświetlanie
- Studnie na buforze z AlGaN
- Rozdzielony w przestrzeni pomiar odbicia/fotoluminescencji: informacja m. in. o jednorodności rozkładu izolowanych jonów Fe i ich wpływie na własności optyczne struktury

Wpływ warunków wzrostu na formowanie się wytrąceń żelaza w GaN

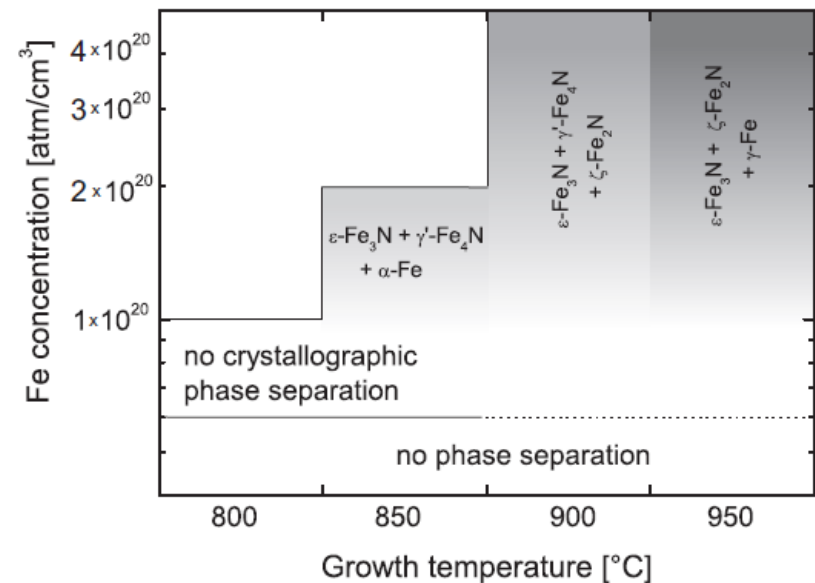
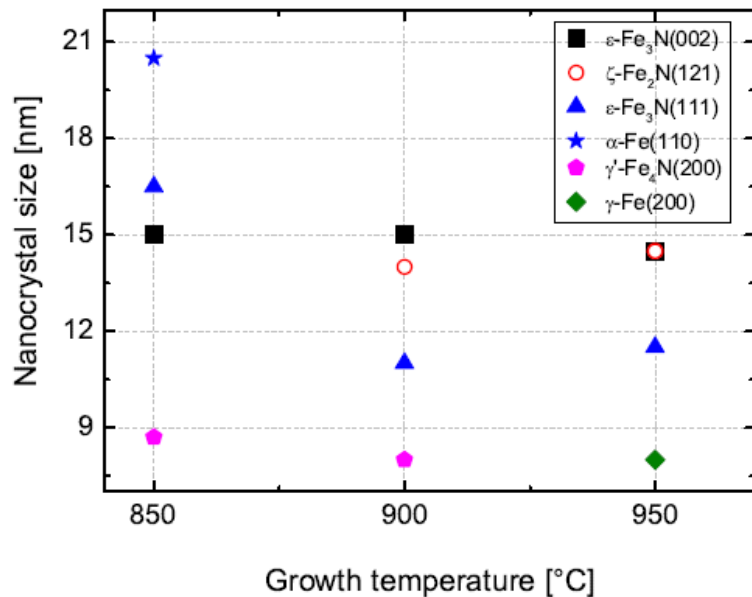
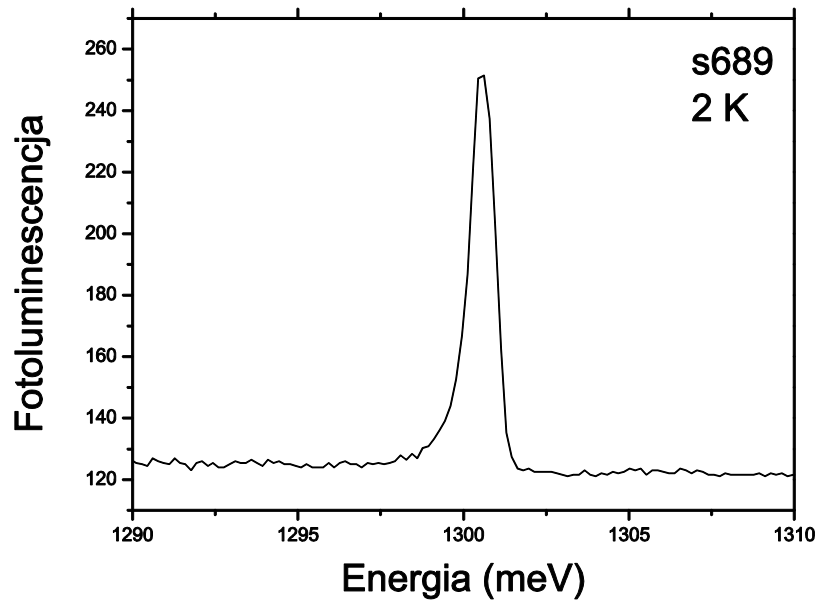


TABLE II: Structural and magnetic parameters of some iron and iron-nitride phases in nanostructures and thin films. To be compared with our experimental values.

		lattice parameter		
	structure	$a(\text{nm})$	$c(\text{nm})$	μ_B
FeN	ZB	0.430^a	–	AF or 0^a
	RS	0.40^b	–	–
γ' -Fe ₄ N	RS	0.382^b	–	2.21^a
γ'' -FeN _{0.91}	ZB	0.433^a	–	1.7 or 0^a
$\varepsilon - \text{Fe}_3\text{N}$	WZ	0.270^c	0.433^c	1.9^d
γ''' -FeN _{0.5-0.7}	RS	0.450^a	–	ferro ^a
$\varsigma - \text{Fe}_2\text{N}$	HCP	0.443^a	0.484^a	para/ 1.5^h
γ -Fe	ZB	$0.361\text{-}0.370^e$	–	$0.3\text{-}2.0^e$
α -Fe	BCC	0.286^f	–	2.2^g

Widmo odbicia od warstw (Ga,Fe)N – obszar ekscytonowy



Struktura energetyczna pasma walencyjnego

