

Analiza wpływu warstw buforowych na szorstkość i własności magnetyczne złącz tunelowych z użyciem mikroskopii AFM oraz MFM

M. Banasik¹, J. Kanak¹, A. Żywczak^{1,2}, S. Ziętek¹,
W. Skowroński¹, W. Powroźnik¹, J. Wrona^{1,3}, T. Stobiecki¹



¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektroniki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

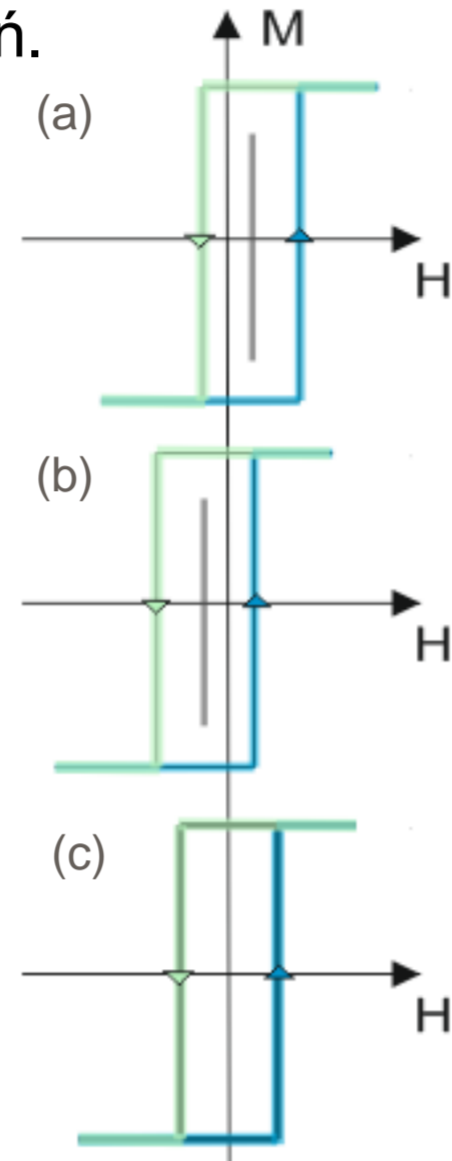
³ Singulus Technologies AG, Hanauer Landstrasse 103, 63796 Kahl am Main, Germany

Wprowadzenie

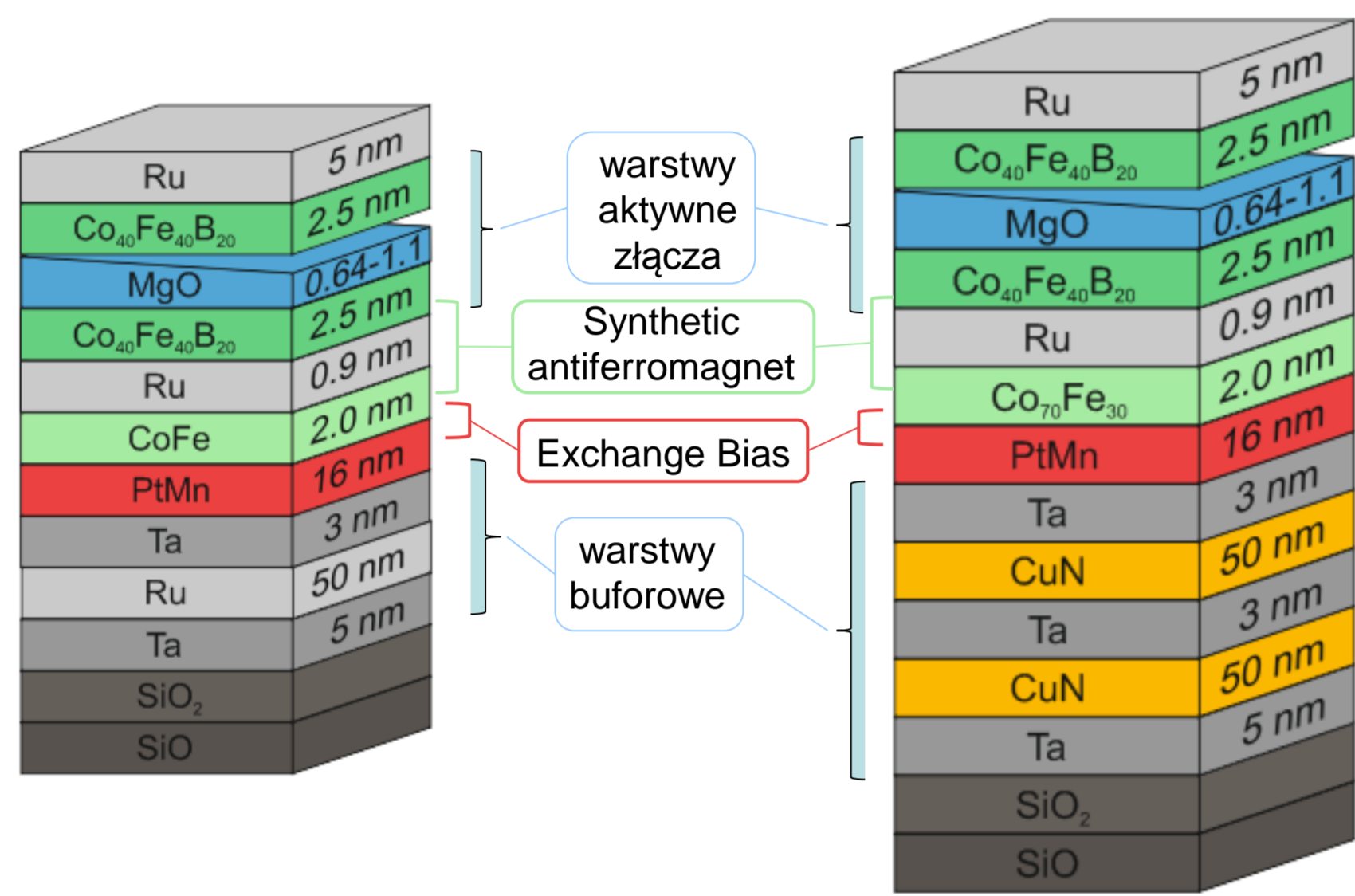
Magnetyczne złącza tunelowe MTJ (*Magnetic Tunnel Junctions*) to nanourządzenia elektroniki spinowej, które znajdują zastosowanie m.in. w nieulotnych pamięciach magnetycznych MRAM. Złącze MTJ składa się z dwóch warstw ferromagnetycznych rozdzielonych cienką warstwą izolatora. Jedna z ferromagnetycznych elektrod może „swobodnie” zmieniać kierunek magnetyzacji, druga elektroda jest poprzez sprzężenia magnetyczne „zamocowana”. Kodowanie informacji jest możliwe dzięki zmianie rezystancji złącza przy zmianie wzajemnej orientacji kierunków magnetyzacji warstw.

W celu uzyskania symetrii, względem H=0, wartości pól przełączających warstwy swobodnej dąży się do wyeliminowania przesunięcia pętli histerezy spowodowanego sprzężeniami międzywarstwowymi poprzez ich kompensację sprzężeń.

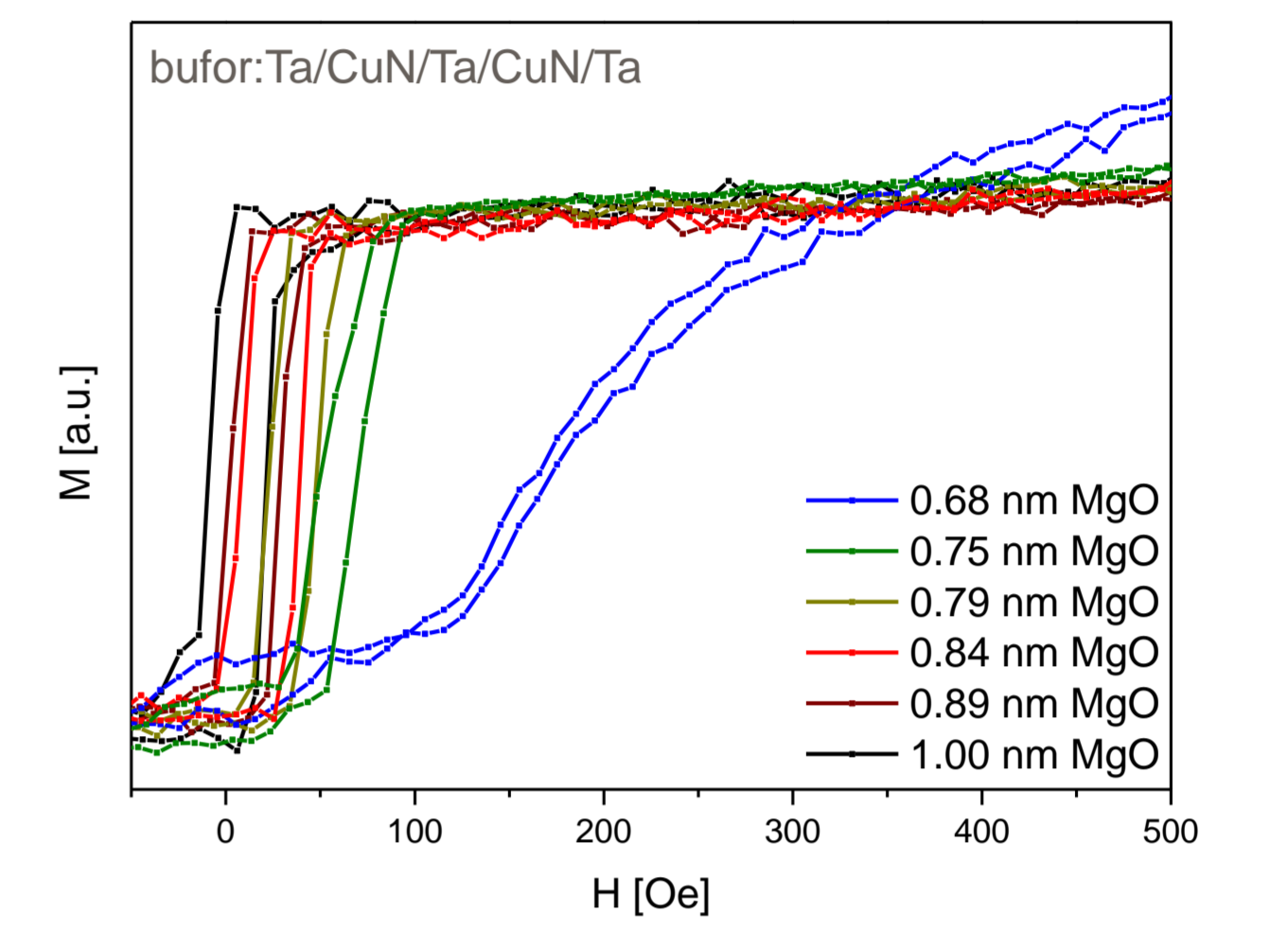
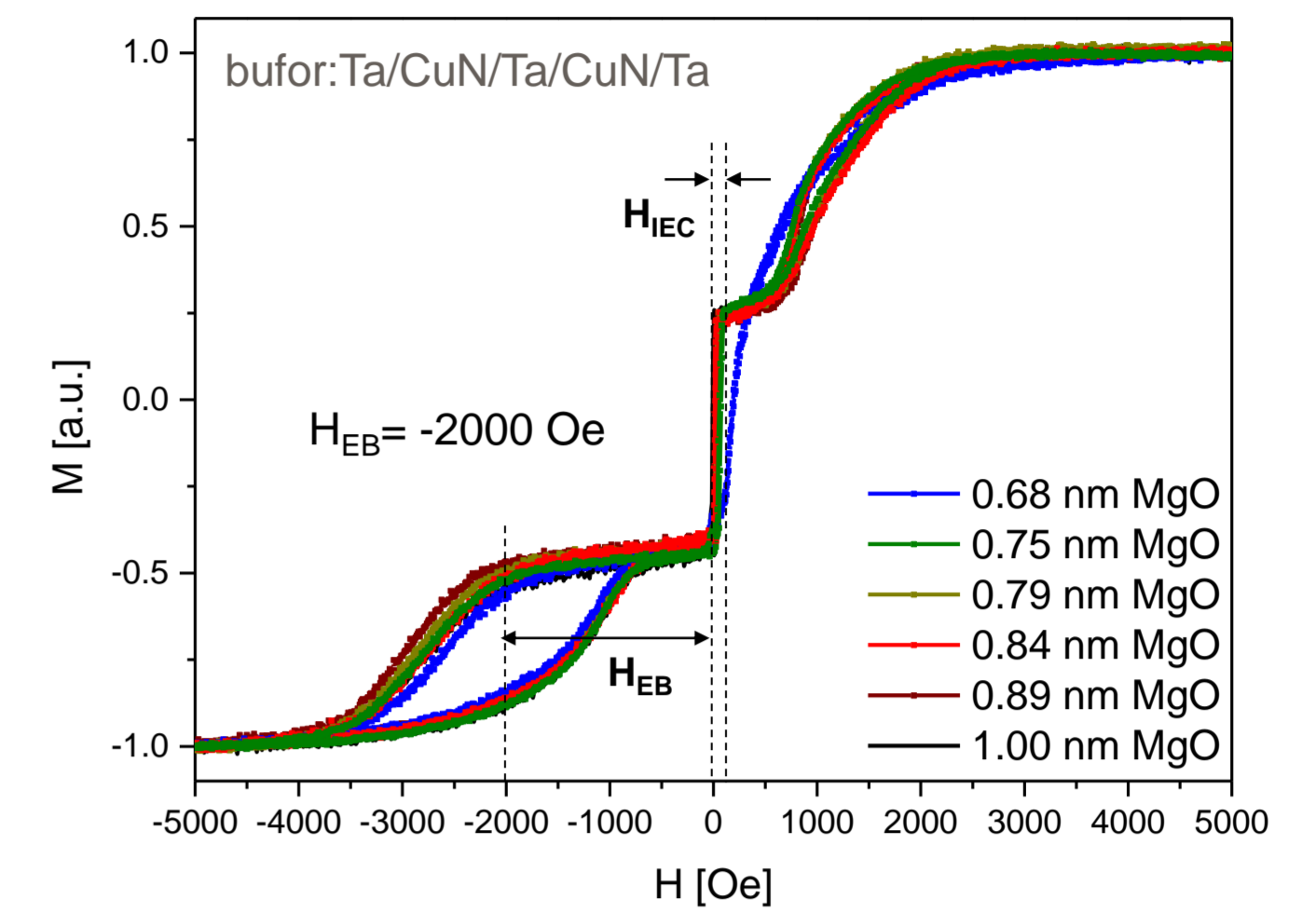
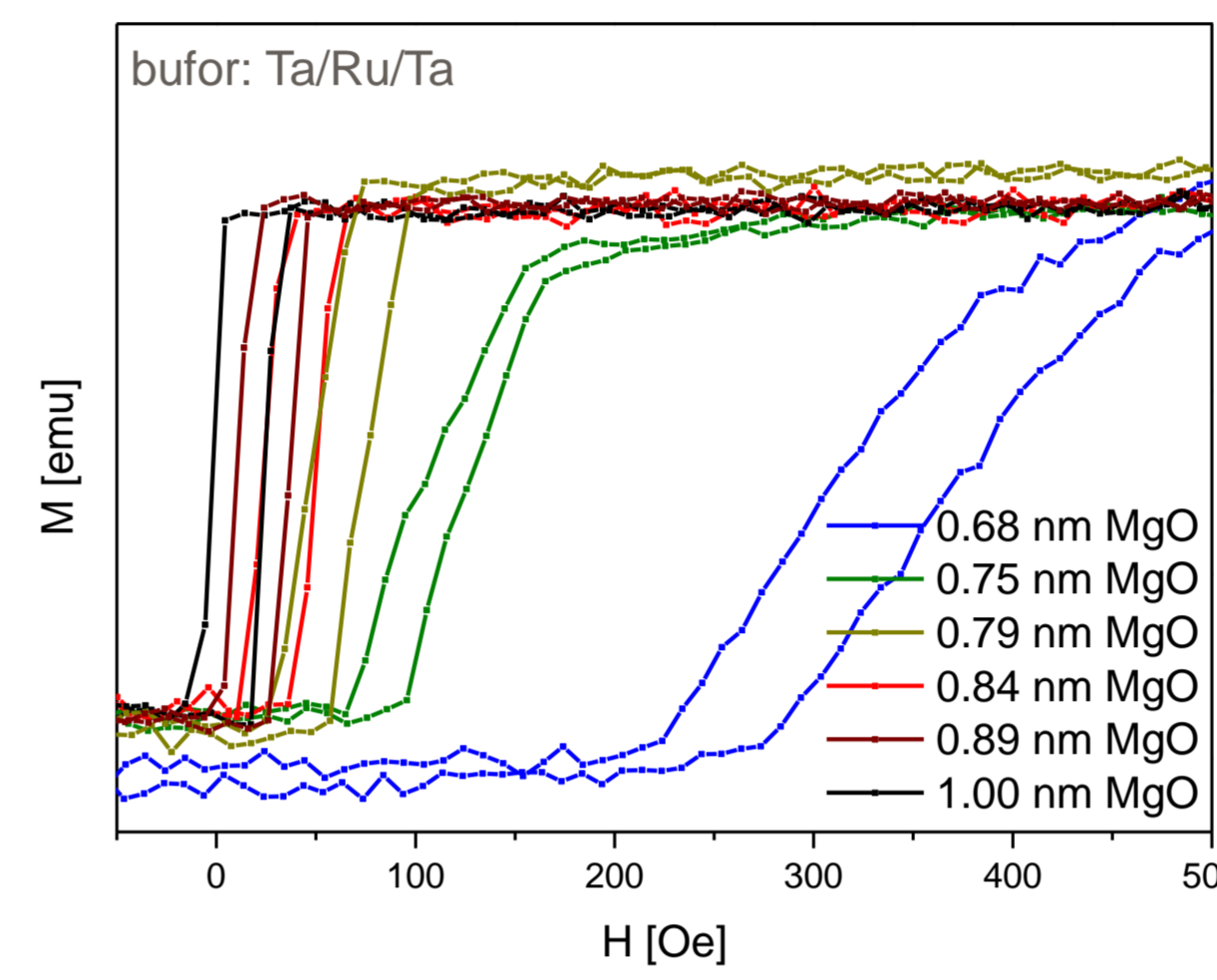
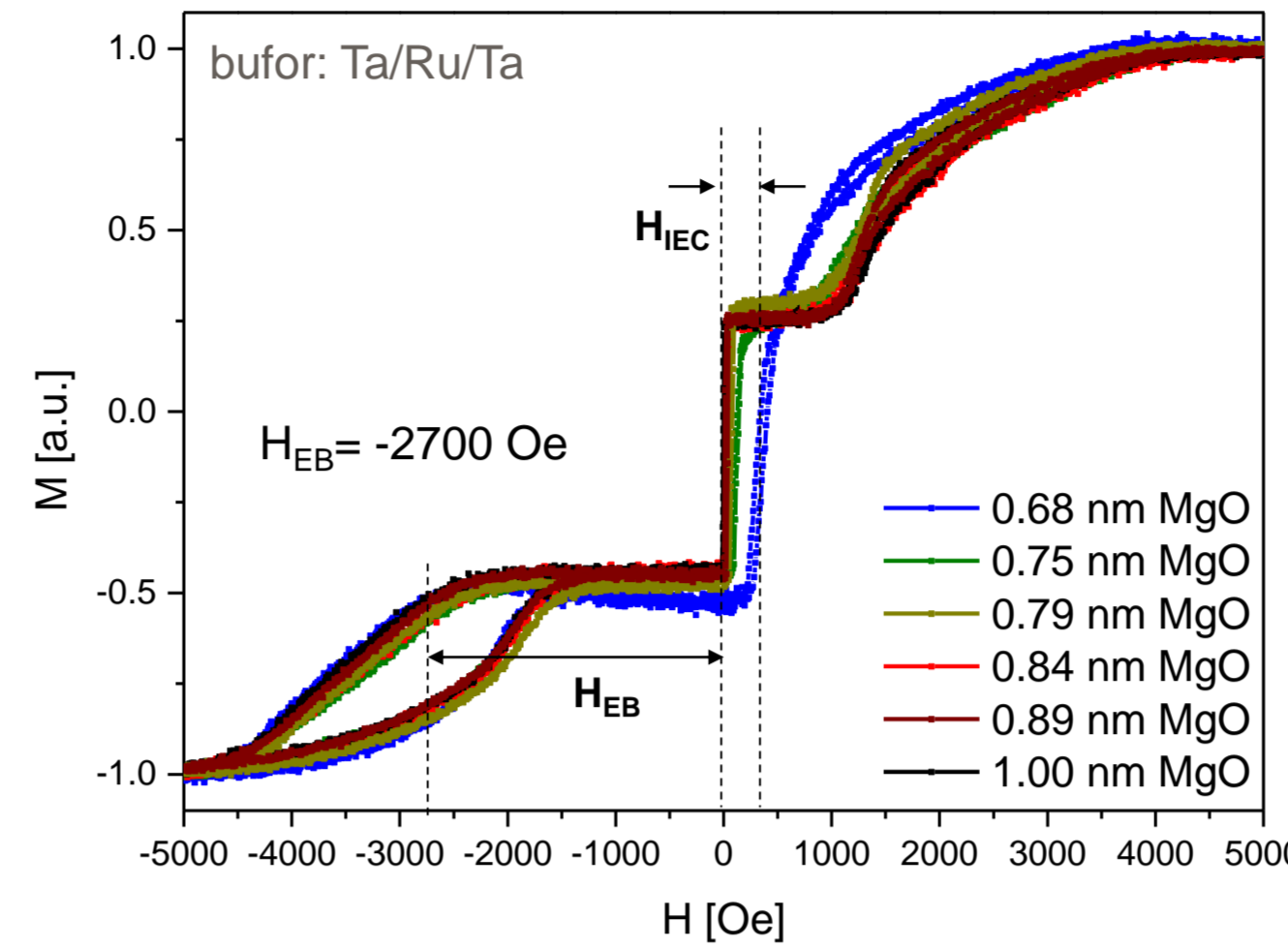
Badaniom poddano magnetyczne złącza tunelowe o strukturze CoFeB/MgO/CoFeB z dwoma różnymi buforami: Ta/Ru/Ta oraz Ta/CuN/Ta/CuN/Ta. Układy warstw z przekładką MgO o zmiennej grubości zostały naniesione metodą magnetronowego rozpylania katodowego. Prezentujemy silny wpływ szorstkości warstw buforowych na magnetyczne sprzężenia międzywarstwowe.



Przesunięcie pętli spowodowane ferromagnetycznym sprzężeniem międzywarstwowym (a), antyferromagnetycznym sprzężeniem dipolowym po strukturyzacji (b). Kompensacja sprzężeń (c).



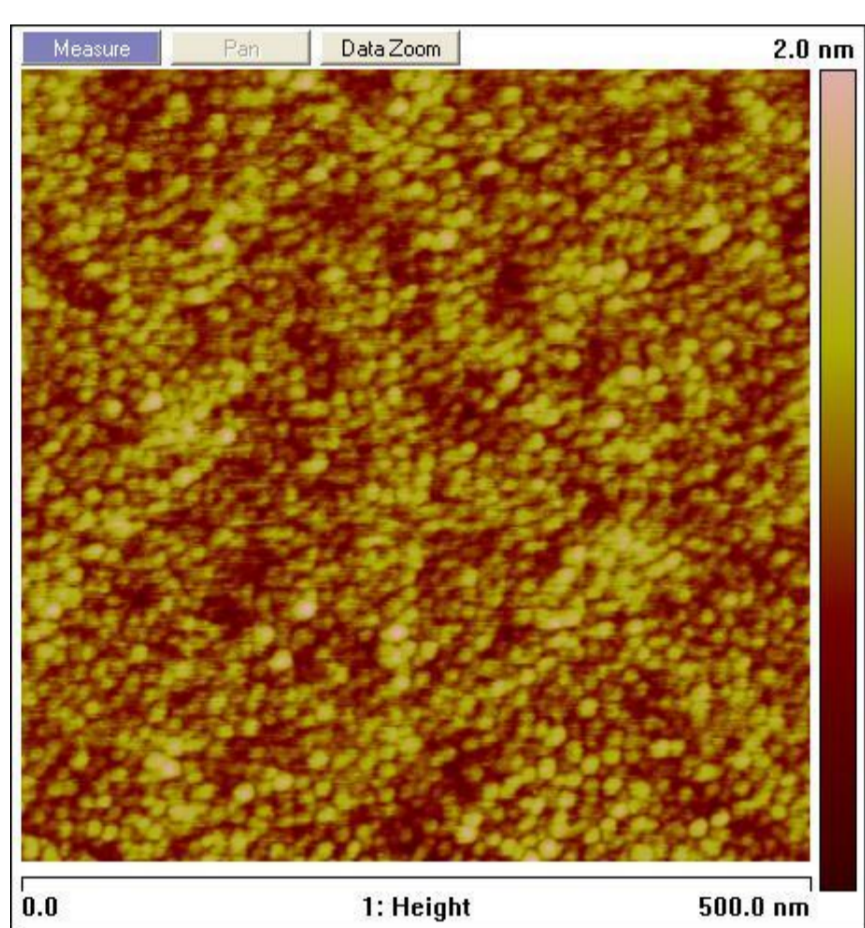
VSM



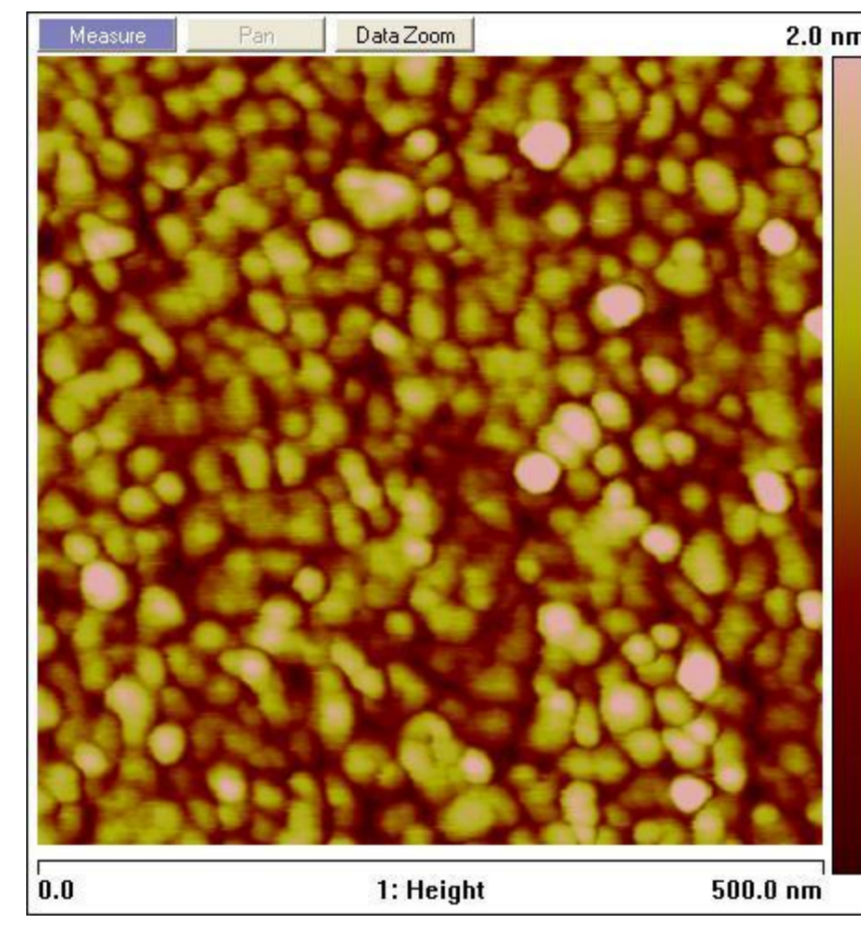
• Wyższa wartość pola sprzężenia wymiennego *exchange bias* dla próbek z buforem Ta/Ru/Ta ($H_{EB} = -2700$ Oe) niż dla bufora Ta/CuN/Ta ($H_{EB} = -2000$ Oe) jest związana z teksturą PtMn.

• Ferromagnetyczne sprzężenie międzywarstwowe *Interlayer Exchange Coupling (IEC)* warstw CoFeB dla próbek z buforem Ta/Ru/Ta jest silniejsze niż dla Ta/CuN/Ta. Przesunięcie pętli górnej elektrody zależy od grubości bariery tunelowej MgO.

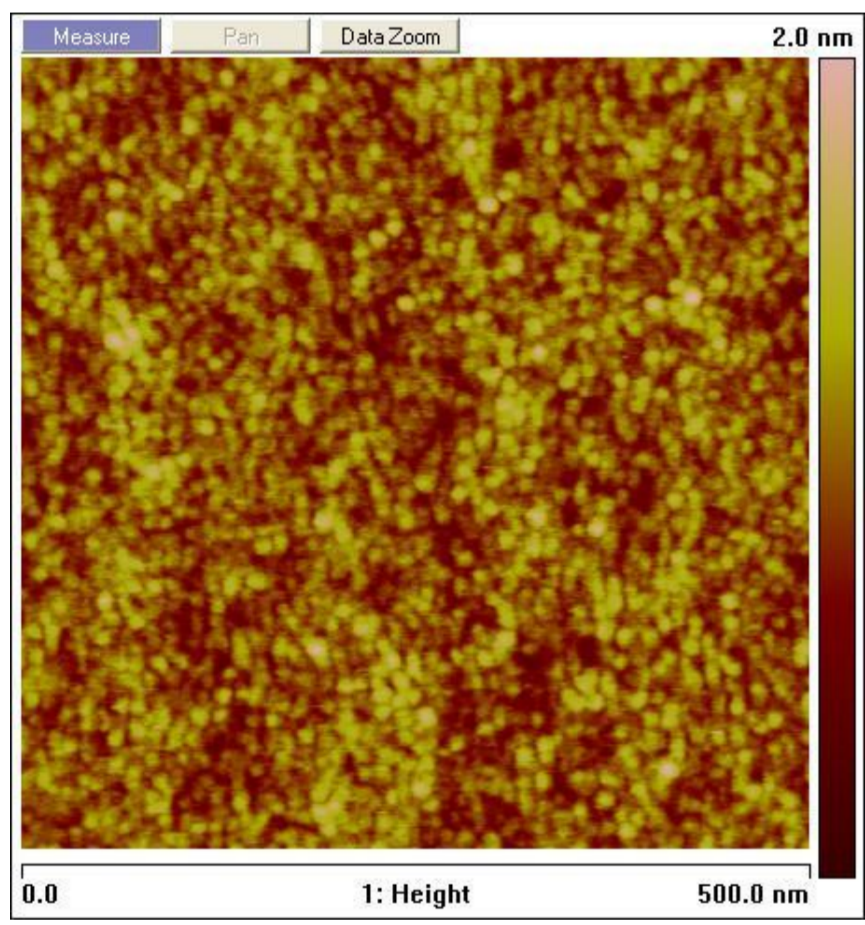
AFM



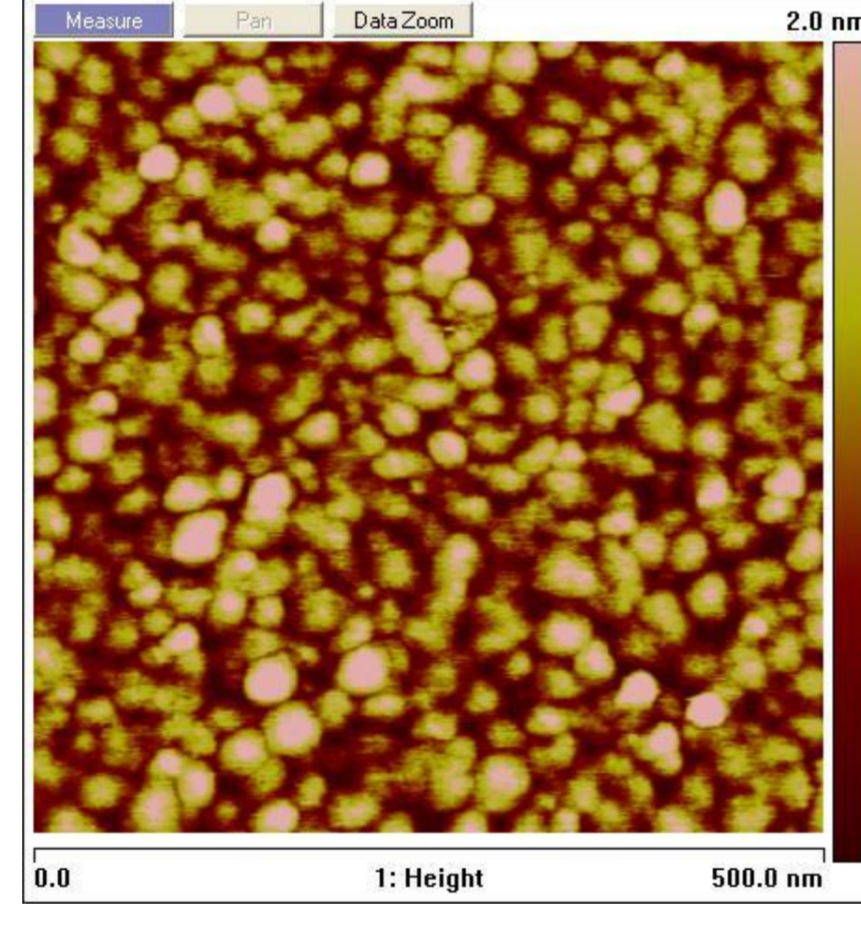
RMS = 0.24 nm



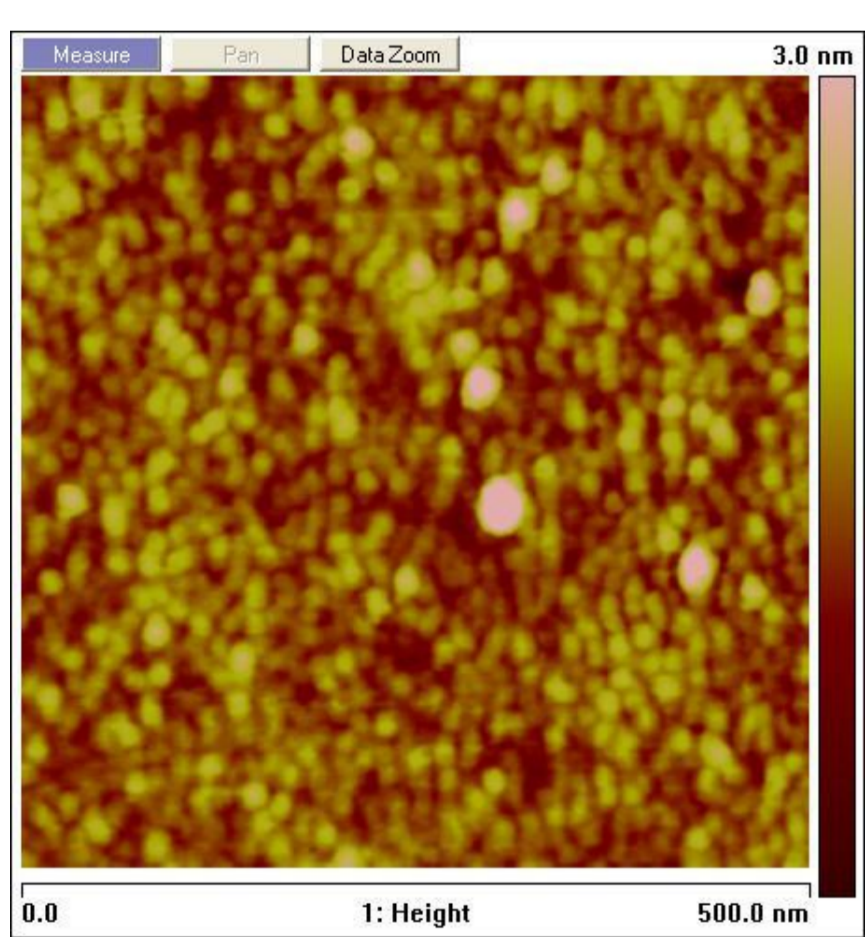
RMS = 0.40 nm



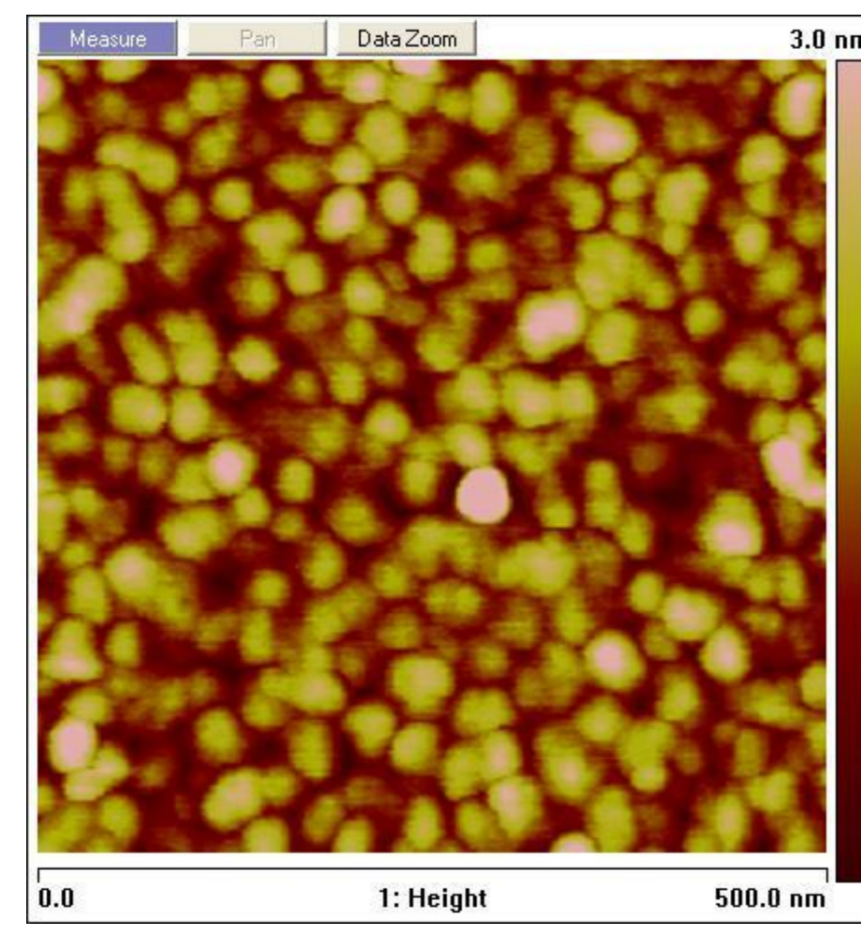
RMS = 0.23 nm



RMS = 0.52 nm



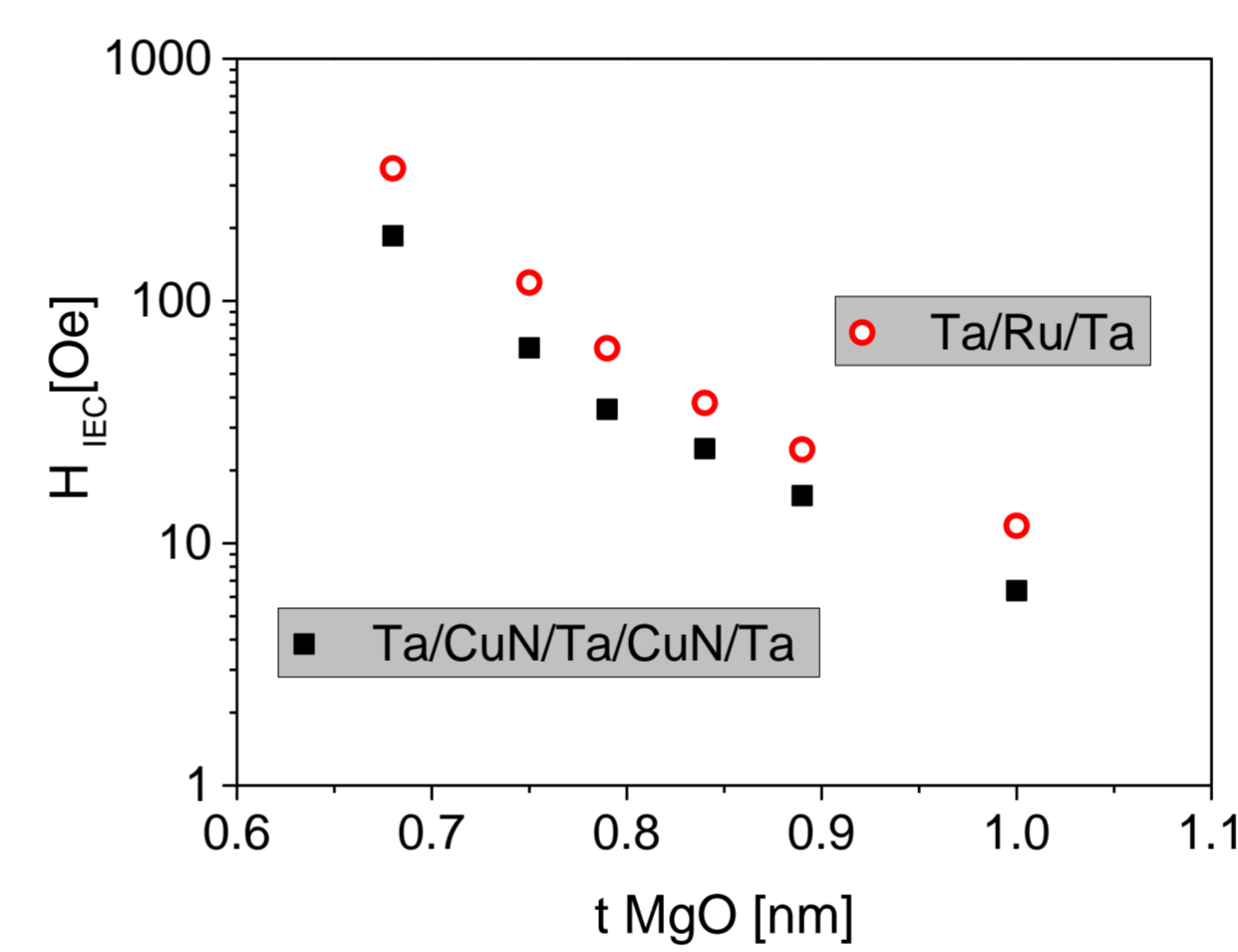
RMS = 0.37 nm



RMS = 0.57 nm

- Topografia powierzchni złączy MTJ silnie zależy od warstw buforowych.
- Średnica ziaren w pilarach z buforem Ta/CuN/Ta jest dużo większa (~30nm) niż w próbkach z buforem Ta/Ru/Ta (~15nm), również wartość RMS jest wyższa dla bufora Ta/CuN/Ta.

Interlayer Exchange Coupling (IEC)



Ferromagnetyczne wymienne sprzężenie międzywarstwowe jest związane ze strukturą ziarnistą granic międzywarstwowych (interfejsów) CoFeB/MgO/CoFeB.

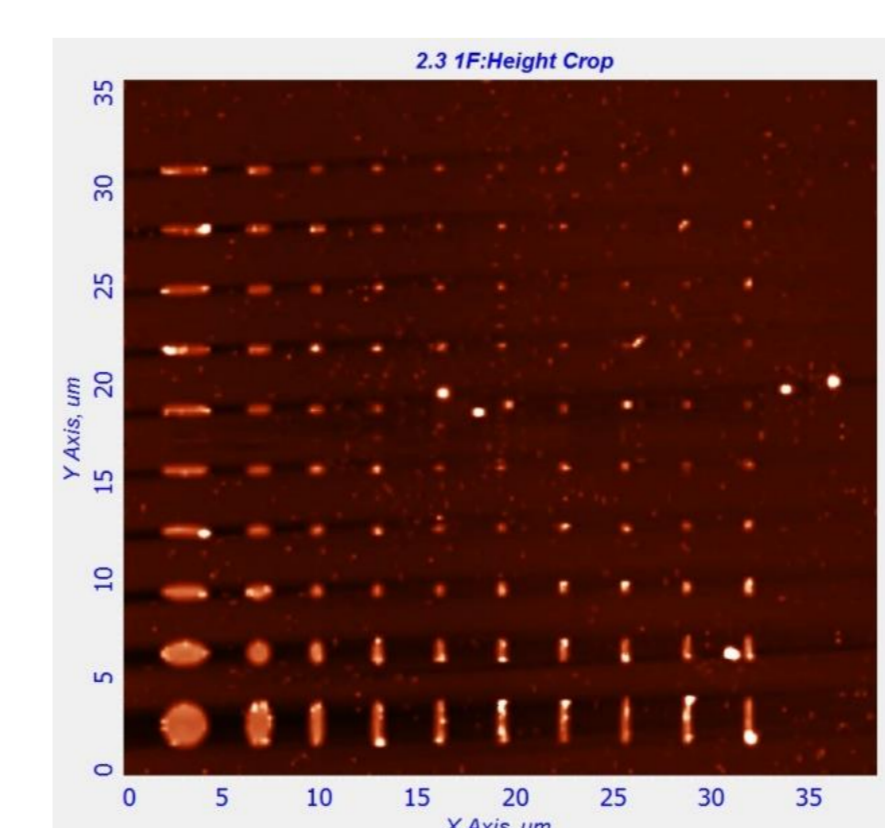
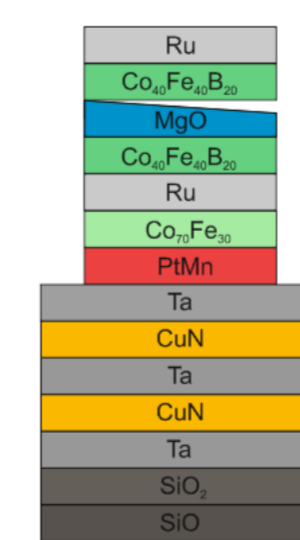
Magnetyczne złącza tunelowe na buforze Ta/Ru/Ta wykazują większe sprzężenie IEC w porównaniu do układu z buforem Ta/CuN/Ta. Zastosowanie wzoru Koola dla sprzężenia *orange-peel coupling* potwierdza, że pomimo większej szorstkości bufora Ta/CuN/Ta sprzężenie będzie mniejsze ze względu na większą średnicę ziaren.

$$H_s = \frac{\pi^2 h^2 M_p}{\sqrt{2} \lambda t_f} \left[1 - \exp\left(-\frac{2\pi\sqrt{2}t_f}{\lambda}\right) \right] \times \left[1 - \exp\left(-\frac{2\pi\sqrt{2}t_p}{\lambda}\right) \right] \exp\left(-\frac{2\pi\sqrt{2}t_s}{\lambda}\right)$$

h – amplituda zafalowania na interfejsach (szorstkość);
 M_p – magnetyzacja warstwy swobodnej;
 λ – długość fali (wielkość ziaren);
 t_f, t_s, t_p – grubości warstw: swobodna (F), izolująca (S), zamocowana (P);

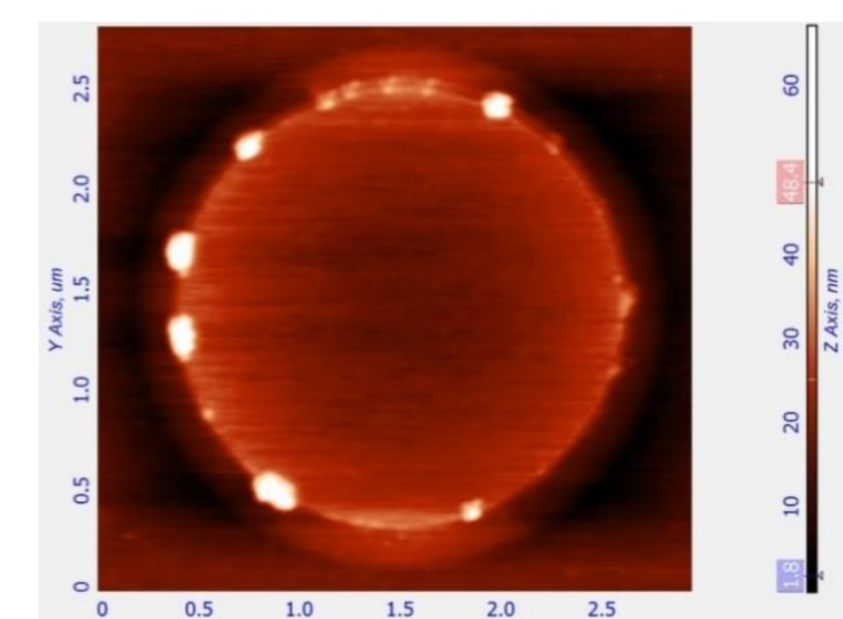
MFM

Magnetyczne złącza tunelowe z anizotropią w płaszczyźnie dla próbek z buforem Ta/CuN/Ta przygotowano przy pomocy nanolitografii elektronowej i trawienia jonowego.

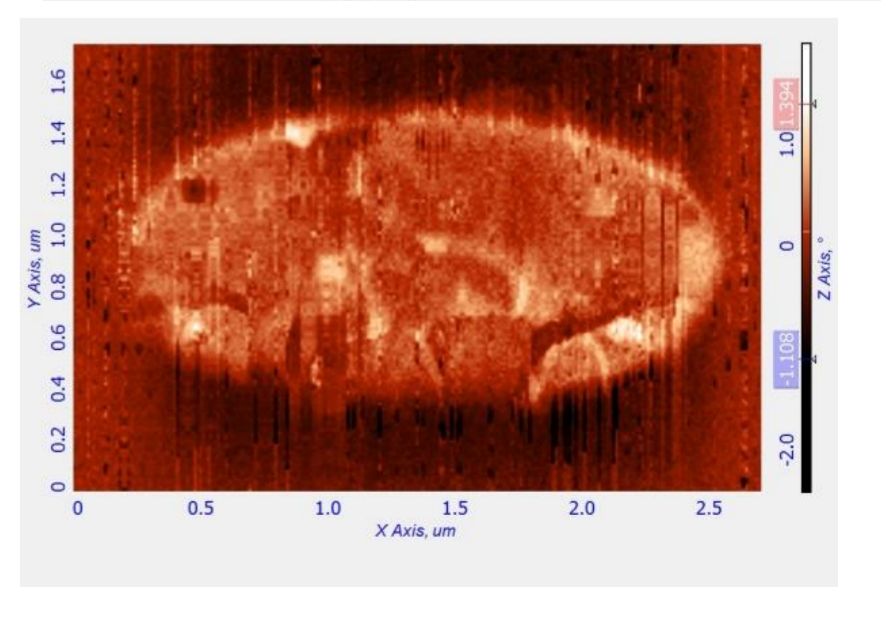
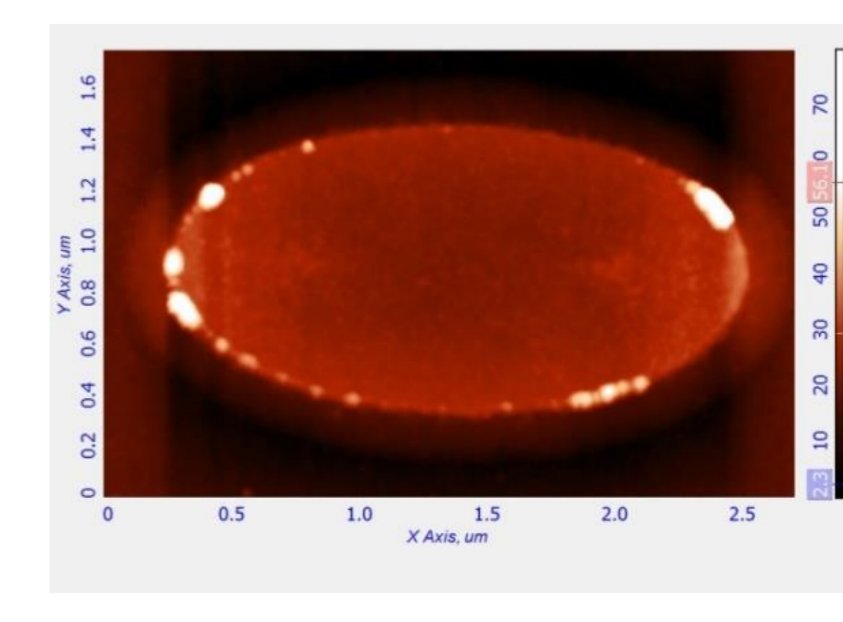
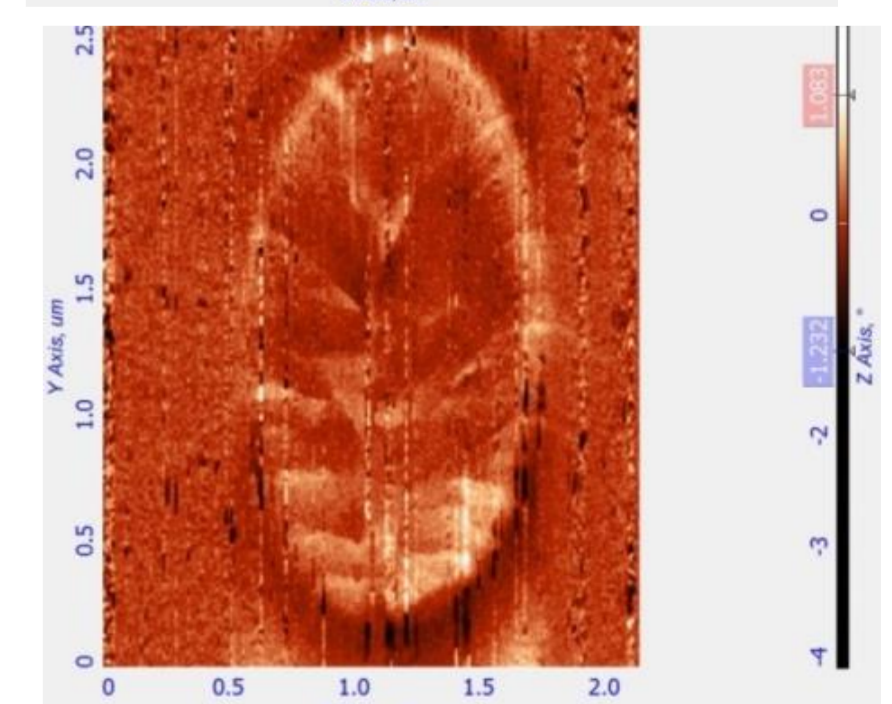
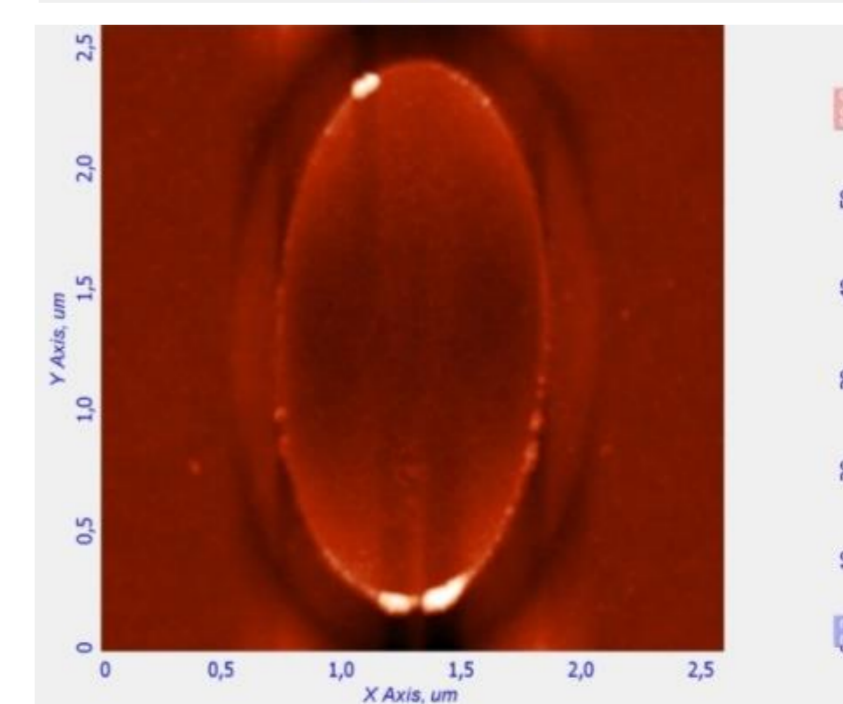
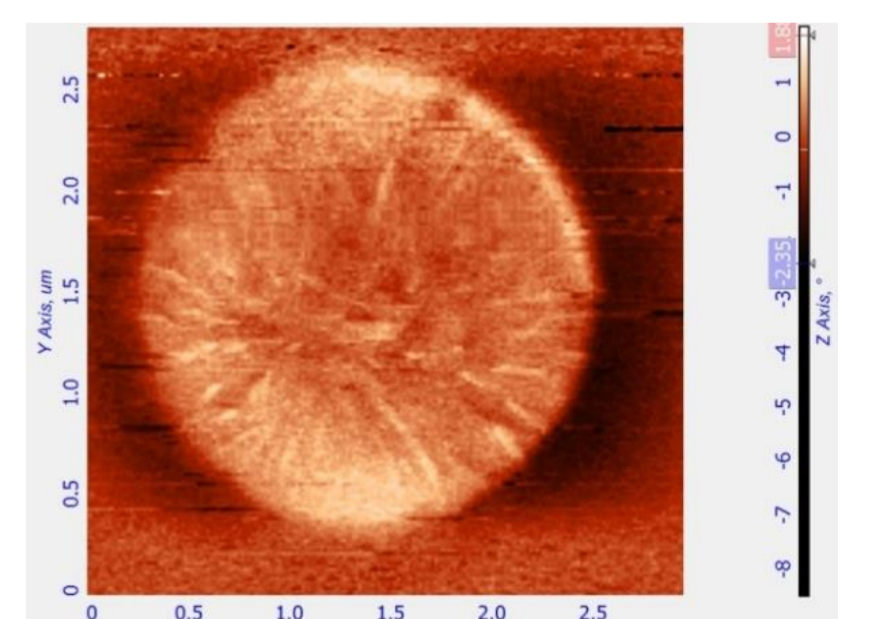


Obraz AFM matrycy złączy ze zmianą wielkości od 2 x 2 μm do 75 x 75 nm.

Topografia

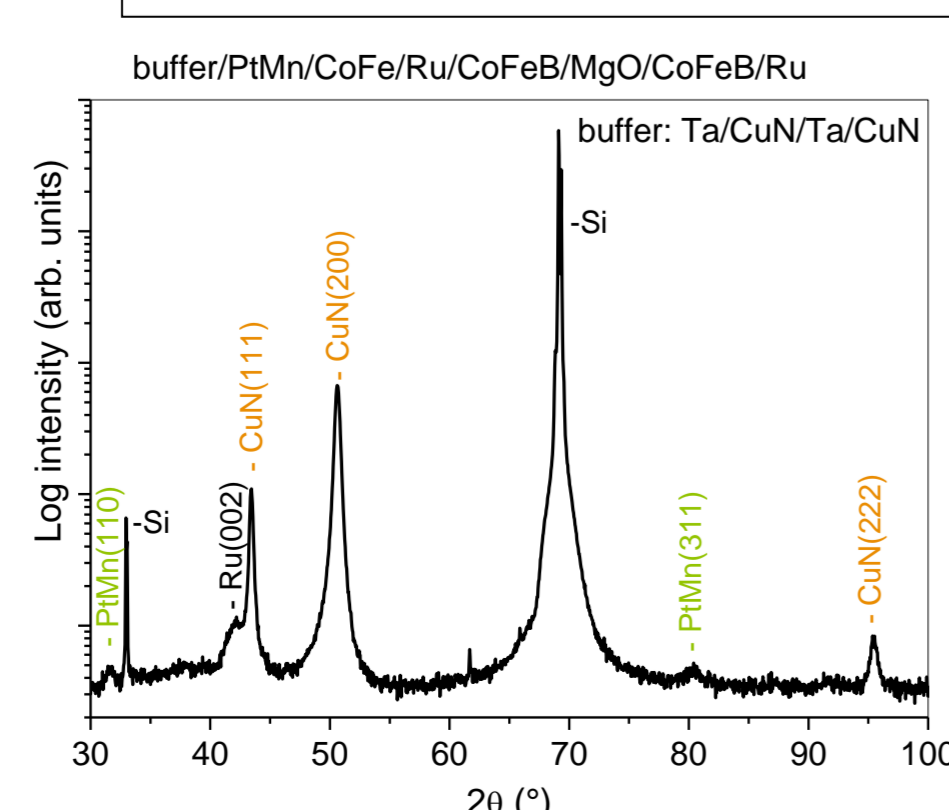
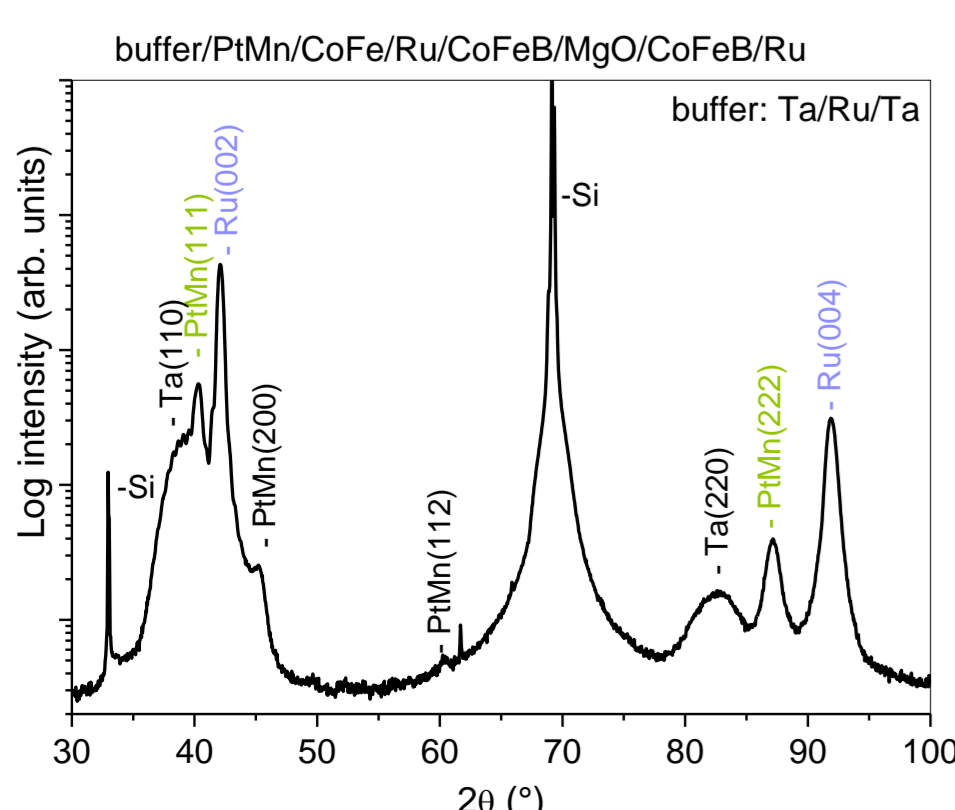


Obraz MFM



Rozkład namagnesowania jest zależny od kształtu złączy. Magnetyzację pochodzącą od warstw ferromagnetycznych mierzono w odległości 50 nm nad powierzchnią pilara.

XRD



• Ru krystalizuje w orientacji (002) natomiast CuN krystalizuje w dwóch kierunkach płaszczyzn (200) i (111).

• PtMn na buforze Ta/Ru/Ta wykazuje silną teksturę w kierunku (111) podczas gdy na buforze Ta/CuN/Ta krystality PtMn są rozorientowane.