

Zakład Cienkich Warstw i Nanostruktur (ZN3)

NAJWAŻNIEJSZE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE (od 2015 roku)

Oddziaływania pomiędzy warstwami	2
Oddziaływanie pomiędzy warstwą antyferromagnetycznego tlenku i ferromagnetyka	2
Silne oddziaływanie DM indukowane w warstwie Co będącej w kontakcie z NiO	2
Oddziaływania na interfejsie ferromagnetyk/ciężki metal	2
Oddziaływanie międzywarstwowe pomiędzy wielokrotną warstwą ferromagnetyczną (Au/Co) i wielokrotną warstwą ferrimagnetyczną Tb/Fe(Co).....	2
Strukturyzacja magnetyczna realizowana z wykorzystaniem bombardowania jonowego.....	3
Wykorzystanie bombardowania jonowego do modyfikacji oddziaływania EB w układach warstwowych Au/Co/NiO.....	3
Dwuwymiarowe periodyczne struktury utworzone na bazie ferrimagnetycznych wielokrotnych warstw Tb/Co poprzez lokalne bombardowanie jonowe	3
Modyfikacja właściwości magnetycznych warstw Ir/Co/Pt poprzez bombardowanie jonami Ga+....	3
Magnetoforeza.....	4
Magnetoforeza realizowana z wykorzystaniem sieci domen z namagnesowaniem prostopadłym do warstwy	4
Magnetoforeza realizowana z wykorzystaniem domen z namagnesowaniem w płaszczyźnie warstwy	4
Nanostruktury wykonane na bazie warstw permalojowych	5
Jednowymiarowe sieci magnoniczne (jednowymiarowe kryształy i kwazikryształy magnoniczne) ...	5
Sieci kagome.....	5
Wpływ grubości i składu chemicznego na właściwości magnetyczne stopowych warstw Co-Tb i wielokrotnych Co/Tb	5
Cienkie warstwy stopów Heuslera	6
Cienkie warstwy magnetyczne wykazujące niskie tłumienie	6
Warstwy YIG	6
Układy warstwowe Au/CoFeB/Au	6
Układy warstwowe X/Co ₂₅ Fe ₇₅ /Au (X= Ti, Cu, Au, NiO).....	7
Wodorowanie układów warstwowych	7
Wpływ wodorowania na właściwości magnetyczne układów warstwowych	7
Odwracalna absorpcja wodoru w układach warstwowych.....	7

Oddziaływania pomiędzy warstwami

Oddziaływanie pomiędzy warstwą antyferromagnetycznego tlenku i ferromagnetyka

Wykazanie, że w układach typu ferromagnetyk/tlenek antyferromagnetyka oddziaływania Exchange Bias znacząco wpływa na anizotropię warstw i wnosi dodatkowy silny powierzchniowy wkład do efektywnej anizotropii magnetycznej faworyzujący anizotropię prostopadłą. Jednakże, występuje on tylko w zakresie temperatur poniżej temperatury porządkowania warstw AF [2]. [4]. [6]. [27]. W szczególności wykazano, że w układzie NiO/Co/NiO, NiO może stabilizować PMA warstwy Co bez udziału metali ciężkich, tj. Au, Pt, Pd,. Zastosowanie dwóch interfejsów NiO/Co i Co/NiO pozwoliło osiągnąć wysokie wartości pola koercji i pola EB ponieważ każdy z tych interfejsów wspiera zarówno sprzężenie EB jak i PMA [27].

Zbadanie wpływu utleniania plazmowego na właściwości magnetyczne, chemiczne i strukturalne dwuwarstw Co/Ni. Pokazano, że utlenianie plazmowe pozwala kontrolować anizotropię magnetycznych dwuwarstw Co/Ni poprzez redukcję grubości Ni i tworzenie stechiometrycznej warstwy NiO. Wykazano, że głównym mechanizmem wzrostu prostopadłej anizotropii magnetycznej jest oddziaływanie EB pomiędzy ferromagnetyczną warstwą Co/Ni a antyferromagnetyczną NiO. Bazując na tych wynikach, zaproponowano technologię strukturyzacji magnetycznej stosując lokalne utlenianie przez maskę wykonaną z fotorezystu. Technologia ta umożliwiła tworzenie 2D wzorów o różnych kombinacjach właściwości magnetycznych w obszarach modyfikowanych przez utlenianie plazmowe oraz w obszarach chronionych przed utlenianiem [32, 34].

Silne oddziaływanie DM indukowane w warstwie Co będącej w kontakcie z NiO

Wykazanie, że polikrystaliczne warstwy Co otoczone antyferromagnetyczną warstwą tlenkową oraz złotem charakteryzują się zarówno obecnością oddziaływania iDM jak i oddziaływania EB. W układzie Au/Co/NiO występuje prawoskrętna chiralność spinów w ŚD, która jest wynikiem silnego ujemnego oddziaływania iDM i nie jest skorelowana z kierunkiem oddziaływania EB. Wyznaczenie oddziaływania iDM i jego korelacji z oddziaływaniem EB było możliwe dzięki zaproponowaniu dwóch nowych podejść do określania stałej oddziaływania iDM bazujących na analizie asymetrycznej propagacji ŚD dla struktur o różnych grubościach warstwy ferromagnetycznej oraz analizie procesu przemagnesowania matrycy trójkątnych struktur, przeprowadzonej z wykorzystaniem konwencjonalnego magnetometru PMOKE. [13, 14].

Wykazanie, że Co układ warstwowym NiO/Co/Pt charakteryzuje się silną anizotropią powierzchniową faworyzującą anizotropię prostopadłą oraz bardzo silnym oddziaływaniem DM wywołującym lewoskrętną chiralność spinów w ścianie domenowej typu Néela. Udokumentowano również, że interfejsowe oddziaływanie DM rośnie ze wzrostem stężenia stechiometrycznego NiO w warstwie tlenku Ni [33].

Oddziaływania na interfejsie ferromagnetyk/ciężki metal

Korzystając z metody VNA-FMR oraz XMCD zbadano związek pomiędzy indukowanym magnetyzmem na interfejsie ciężki metal/ferromagnetyk, a transportem spinowym przez ten interfejs. Zaobserwowano korelację pomiędzy tłumieniem precesji namagnesowania, a polaryzacją warstwy Pt w układach CoFe/Au/Pt i NiFe/Au/Pt [29] oraz Co₂₅Fe₇₅/SL/Pt (SL= Au, Cu) [31].

Oddziaływanie międzywarstwowe pomiędzy wielokrotną warstwą ferromagnetyczną (Au/Co) i wielokrotną warstwą ferrimagnetyczną Tb/Fe(Co)

Wykazano, że wartość pola przełączania kierunku namagnesowania warstwy ferromagnetycznej może być kontrolowana w szerokim zakresie pola magnetycznego (od minus kilku kOe do plus kilku kOe) poprzez zmianę grubości subwarstwy Tb. Aby osiągnąć tak duże pola przełączania, które bezpośrednio

związane są z dużą wartością oddziaływania ($J \sim 0.15 \text{ mJ/m}^2$) przekładka (Au) musi być otoczona metalem przejściowym (w naszym przypadku Co lub Fe). Oddziaływanie to wykazuje charakter oscylacyjny z t_{Au} [17].

Strukturyzacja magnetyczna realizowana z wykorzystaniem bombardowania jonowego

Wykorzystanie bombardowania jonowego do modyfikacji oddziaływania EB w układach warstwowych Au/Co/NiO

Wykazano, że zwrot oddziaływania EB może być odwrócony w wyniku bombardowania jonowego w zewnętrznym polu magnetycznym, które jest skierowane przeciwnie do pola magnetycznego zastosowanego do indukowania oddziaływania EB podczas osadzania warstw. Co więcej siła tego oddziaływania może być regulowana przez zmianę dawki jonów. Po raz pierwszy wykazano, że w taki sposób można modyfikować oddziaływania EB układów wykazujących prostopadła anizotropię magnetyczną [16].

Dwuwymiarowe periodyczne struktury utworzone na bazie ferrimagnetycznych wielokrotnych warstw Tb/Co poprzez lokalne bombardowanie jonowe

Wykazano, że bombardowanie jonami He^+ wielokrotnej warstwy Tb/Co wykazującej dominację podsięci Tb (Tb^+) pozwala, przy odpowiednio dobranej energii i dawce jonów, zmienić dominację na Co^+ i jest to związane z częściową dezaktywacją magnetyczną podsięci Tb w wyniku utleniania. Pokazaliśmy, że stosując taką modyfikację może utworzyć regularną dwuwymiarową sieć obszarów Co^+ w matrycy z dominacją Tb^+ . Niezwykle ważną cechą takiej struktury warstwowej jest to, że na granicy między obszarem poddanym modyfikacji jonowej (TM^+) a matrycą (RE^+) tworzy się unikalna struktura magnetyczna, która łamie paradygmat związany z koniecznością jednoczesnego występowania domen i ścian domenowych (SD). Pokazaliśmy, że w stanie mono-domenowym obecna jest SD i odwrotnie po przemagnesowaniu części układu, tj. wówczas gdy namagnesowanie efektywne w obszarze TM^+ ma przeciwną orientację niż matryca RE^+ , SD nie występuje. Wykazaliśmy, że w stan wielodomenowym bez SD charakteryzuje się wyjątkową stabilnością, ponieważ pozwala obniżyć energię demagnetyzacji, a przy braku ścian domenowych nie odbywa się to kosztem energii anizotropii i wymiany [21,24].

Modyfikacja właściwości magnetycznych warstw Ir/Co/Pt poprzez bombardowanie jonami Ga^+

Na podstawie pomiarów pętli histerezy układów warstwowych Ir/Co/Pt poddanych bombardowaniu jonami Ga^+ z różnymi energiami i dawkami jonów wykazano, że możliwe jest uzyskanie znacznych zmian anizotropii (włącznie ze zmianą kierunku osi łatwej). Analizując wyniki pomiarów i symulacji Monte-Carlo prowadzonych z wykorzystaniem programu TRIDYN wykazano, że mieszanie pierwiastków na górnym interfejsie (Co/Pt) jest silniejsze niż na dolnym (Ir/Co) przy czym różnica ta wzrasta wraz z obniżaniem energii jonów [35].

Magnetoforeza

Magnetoforeza realizowana z wykorzystaniem sieci domen z namagnesowaniem prostopadłym do warstwy

Z magnetycznych układów warstwowych [(Au/Co)₃] wykazujących anizotropię prostopadłą, za pomocą bombardowania jonowego przez maski, wytworzono periodyczne dwuwymiarowe sieci magnetycznych domen o okresie rzędu mikrometrów i zróżnicowanej symetrii oraz topologii. Nad takimi strukturami, umieszczonymi w zewnętrznym polu magnetycznym, znajdowała się koloidalna zawiesina superparamagnetycznych cząstek (SPB). Eksperymentalnie i teoretycznie wykazano, że topologicznie trywialne pętle zewnętrznego pola magnetycznego przekształcają się w nietrywialne zmiany pola magnetycznego w otoczeniu magnetycznych elementów periodycznej struktury. Ochrona topologiczna zapewnia stabilność transportu cząstek przed zakłóceniami. [15].

Eksperymentalnie i obliczeniowo zbadano topologicznie chroniony transport SPB ponad przestrzennie niejednorodnymi sieciami magnetycznych domen, ujawniając, że złożoność transportu może być zakodowana zarówno w pętli pola magnetycznego (wymuszającego transport SPB), jak i we wzorze struktury sieci magnetycznej. Złożone sieci pozwalają na skomplikowane tryby transportu SPB pod wpływem okresowych pętli jednorodnego pola magnetycznego. Zaproponowano wzór sieci charakteryzujący się defektem topologicznym, który działa przyciągająco lub odpychająco na SPB, a także wzór, który kieruje SPB wzdłuż określonej złożonej trajektorii. Używając prostych wzorów sieci magnetycznej i złożonych pętli, jednocześnie i niezależnie kontrolujemy ruch kilku identycznych mikrocząstek różniących się jedynie położeniem nad siecią domen. Wykazaliśmy, że łącząc złożone wzory sieci i złożone pętle, możemy realizować transport SPB z nieznanymi lokalizacji do wstępnie zdefiniowanych pozycji, a następnie możemy realizować ich jednoczesny transport wzdłuż dowolnie złożonych trajektorii [37].

Opracowano metodę łączenia pojedynczych SPB w jednowymiarowe pręty o kontrolowanej długości. Wykazano, że propagacja tak wytworzonych aglomeratów, nad heksagonalną siecią domen zachodząca pod wpływem zewnętrznego jednorodnego pola magnetycznego, zależy od długości prętów utworzonych z SPB [38].

Zademonstrowano, że SPB przemieszczając się (pod wpływem rotującego w płaszczyźnie próbki pola magnetycznego) nad koncentrycznymi pierścieniami wykonanymi z warstwy wykazującej anizotropię prostopadłą wykazują trajektorie podobne do promieni światła przechodzących przez soczewkę skupiającą (zbiegają się dążąc do centrum pierścieni i rozbiegają po minięciu tego punktu). Wyniki pomiarów zostały wsparte obliczeniami [42].

Magnetoforeza realizowana z wykorzystaniem domen z namagnesowaniem w płaszczyźnie warstwy

Zaproponowano wzór równoległych paskowych domen (z namagnesowaniem w płaszczyźnie układu warstwowego) o periodycznie malejącej i rosnącej długości, za pomocą którego możliwe jest skoncentrowanie superparamagnetycznych kulek (SPB). Tym samym pokazano możliwość realizacji funkcjonalnego elementu typu „lejek” (koncentrator SPB) do zastosowania w urządzeniach typu „lab-on-a-chip” (LOC). Wykazano również, że to samo urządzenie, po odpowiednim dopasowaniu czasu impulsów zewnętrznego pola magnetycznego może pełnić funkcję zaworu przepuszczającego jedynie określoną ilość SPB [36].

Nanostruktury wykonane na bazie warstw permalojowych

Jednowymiarowe sieci magnoniczne (jednowymiarowe kryształy i kwazikryształy magnoniczne)

Zbadano proces przemagnesowania jednowymiarowych magnonicznych struktur złożonych z permalojowych pasków o dwóch różnych szerokościach. Wykazano, na podstawie badań eksperymentalnych i teoretycznych, że główny wpływ na proces przemagnesowania ma anizotropia kształtu poszczególnych pasków. Jednakże, porównanie struktur z dwoma rodzajami pasków tworzącymi strukturę periodyczną - kryształ magnoniczny i aperiodyczną – kwazikryształ magnoniczny (ciąg Fibonacciego) wykazuje wyraźne różnice [1].

Przeprowadzenie dla tych struktur pomiarów VNA-FMR, BLS i obrazowania STXM pozwoliło określić relację dyspersji fal spinowych. Wykazano, że zmiana konfiguracji magnetycznej z wykazującej uporządkowanie ferromagnetyczne na antyferromagnetyczne wywołuje silne zmiany w dynamice fal spinowych [18].

Wykazano, że kwazikryształy magnoniczne stwarzają znacznie większe możliwości manipulowania falami spinowymi niż regularne kryształy magnoniczne [19].

Korzystając z opisanych powyżej sieci magnonicznych pokazano, że czasowo rozdzielcza transmisyjna skaningowa mikroskopia rentgenowska (STXM) pozwala nie tylko na bezpośrednią obserwację fal spinowych, ale poprzez selektywne obrazowanie wektora k , umożliwia dekonwolucję nakładających się modów i obserwację modów symetrycznych i asymetrycznych w przestrzeni rzeczywistej [22, 23].

Zademonstrowano, że technika STXM pozwala również na zobrazowanie procesu formowania lokalnej (w skali nanometrycznej) emisji fal spinowych [25].

Zaobserwowano, że można wyindukować powstanie czasoprzestrzennego kryształu magnonicznego przy użyciu magnonów oraz zbadano jego oddziaływanie z innymi magnonami. Wzbudzenie magnonów, w jednorodnie namagnesowanym pasku wykonanym z cienkiej warstwy stopu Ni-Fe, realizowano stosując jednorodne pompujące pole mikrofalowe. Pole to wzbudziło magnony, które wyindukowały periodyczną zarówno w czasie jak i przestrzeni teksturę magnetyczną, potwierdzając realizację czasoprzestrzennego kryształu magnonicznego [26].

Sieci kagome

Dla zamkniętych i otwartych sztucznych sieci kagome wykonanych na bazie warstw permalojowych przeprowadzono pomiary rezonansu ferromagnetycznego (FMR) oraz symulacje mikromagnetyczne. Wyznaczone spektra FMR wykazują sześciokrotną rotacyjną symetrię jakościowo zgodną z obliczeniami przeprowadzonymi dla struktury kagome. Oddziaływania dipolowe między elementami sieci wywołują mieszanie wzbudzeń krawędziowych i objętościowych skutkujące odstępstwem od wyników uzyskanych z modelowania, co jest szczególnie wyraźne dla zamkniętych sieci kagome [5].

Wpływ grubości i składu chemicznego na właściwości magnetyczne stopowych warstw Co-Tb i wielokrotnych Co/Tb

Zaproponowano metodę wytwarzania warstw stopowych Co-Tb z gradientem stężenia Tb (c_{Tb}) wzdłuż wybranego kierunku w płaszczyźnie warstwy i gradientem grubości również w płaszczyźnie warstwy ale zorientowanym prostopadle względem gradientu c_{Tb} . Na podstawie pomiarów pętli histerezy takich

warstw i warstw wielokrotnych (Co/Tb- warstwa klinowa)_N ($2 \leq N \leq 15$ - liczba powtórzeń) wykazano, że c_{Tb} , dla którego zachodzi kompensacja namagnesowania podsieci Co i Tb ulega zmniejszeniu wraz ze wzrostem grubości warstw stopowej lub całkowitej grubości warstwy wielokrotnej [30].

Cienkie warstwy stopów Heuslera

Zbadano właściwości magnetyczne i transportowe metastabilnych stopów $Fe_xMn_yGa_z$ alloys ($46 < x < 52$, $17 < y < 25$, $26 < z < 30$) o strukturze FCC, BCC i strukturze mieszanej (FCT+BCC). Wyniki doświadczalne przeanalizowano w oparciu o wyniki obliczeń z pierwszych zasad dla stechiometrycznego związku Fe_2MnGa o strukturze L_{21} , L_{12} i tetragonalnie odkształconej strukturze L_{21} . Pokazano, że czyste fazy BCC i FCC mają różne właściwości magnetyczne i transportowe. Dwufazowe stopy Fe_2MnGa charakteryzują się własnościami typowymi dla mieszanych struktur BCC i FCC. Wśród zbadanych stopów jedynie stop $Fe_{46}Mn_{24}Ga_{30}$ wykazuje transformację martenzytyczną [41].

Objaśniono rezultaty badań cienkich warstw magnetycznych stopów Heuslera $Ni_2Mn_{1+x}Z_{1-x}$ ($Z=In, Sn, Sb$) przy pomocy obliczeń ab-initio. W szczególności pokazano, że nieliniowe zależności namagnesowania M vs. X dla tych stopów mogą być jakościowo opisane za pomocą statystycznego modelu, który uwzględnia występowanie nieuporządkowanego rozkładu atomów Mn z oddziaływaniami ferro- lub antyferromagnetycznymi. Współzawodnictwo tych oddziaływań w cienkich warstwach stopu $Ni_2Mn_{1+x}Sn_{1-x}$ potwierdzają zależności pola wymiennego (exchange bias) od składu (x) [39].

Cienkie warstwy magnetyczne wykazujące niskie tłumienie

Warstwy YIG

W zastosowaniu struktur magnonicznych do transmisji fal spinowych często wykorzystywane są tzw. mody brzegowe propagujące wzdłuż krawędzi tych struktur. Z tego względu, niezbędne jest zapewnienie dobrze wykształconych („ostrych”) krawędzi nanostruktur magnonicznych. Pokazano [9], że przy pomocy bezmaskowej fotolitografii i techniki „lift-off” możliwe jest uzyskanie strukturyzowanych warstw granatu itrowo-żelazowego (YIG) o bardzo małym tłumieniu Gilberta. Warstwy YIG o grubości około 70 nm wzrastały w temperaturze pokojowej na podłożach granatu gadolinowo-galowego o orientacji (100) przy pomocy impulsowej ablacji laserowej i wykazywały małą szorstkość powierzchniową, efektywne namagnesowanie 127 emu/cm^3 oraz parametr tłumienia Gilberta około $5 \cdot 10^{-4}$. Ważne jest, że po strukturyzacji i wygrzewaniu w atmosferze O_2 uzyskane struktury są epitaksjalne o jakości porównywalnej z warstwami uzyskiwanymi przy stosowaniu standardowych procedur. W efekcie zastosowana procedura oraz długozasięgowy charakter transmisji fal spinowych torują drogę do zastosowania struktur YIG w urządzeniach magnonicznych [8].

Układy warstwowe Au/CoFeB/Au

Wykazano, że układ warstwowy $Au/Co_{20}Fe_{60}B_{20}/Au$ osadzany metodą rozpylania magnetronowego dla grubości warstwy ferromagnetycznej poniżej 1 nm wykazuje silną anizotropię prostopadłą oraz niskie tłumienie [12].

Układy warstwowe X/Co₂₅Fe₇₅/Au (X= Ti, Cu, Au, NiO)

Na podstawie pomiarów VNA-FMR wykazano, że zastosowanie ultracienkiej (0.3 nm) buforowej warstwy Cu pozwala na zredukowanie tłumienia do poziomu poniżej 0.003 [20].

Wodorowanie układów warstwowych

Wpływ wodorowania na właściwości magnetyczne układów warstwowych

Zbadano oddziaływanie pomiędzy warstwami Fe w układach warstwowych Fe/V/Fe [W1] i Fe/Nb/Fe/Pd [W2] w funkcji grubości przekładki niemagnetycznej. Wykazano, że dla obu typów warstw wodorowanie modyfikuje siłę oddziaływania pomiędzy warstwami Fe.

Odwracalna absorpcja wodoru w układach warstwowych

W wielokrotnych warstwach Mg/Ni zbadano efekt tworzenia się stopu na międzywierzchniach powodujący redukcję namagnesowania układu w wyniku tworzenia martwej warstwy Ni.

Rejestrowano również dynamikę absorpcji wodoru wykazując, że jest ona największa dla subwarstw Ni o grubości 3.5nm [W3].

W oparciu o porównawcze pomiary układów warstwowych Pd/Gd i Pd/Ni/Gd wykazano, że warstwa Ni w istotny sposób zwiększa cykliczność procesów absorpcji/desorpcji wodoru nie wydłużając czasu przełączania [W4].

Na podstawie pomiarów XPS, dyfrakcji rentgenowskiej i zmian oporności w funkcji czasu wodorowania warstw Gd wykazano, że na podstawie zmian kształtu i położenia linii Gd-4f można określić stopień procesu uwodornienia warstw [W5].

Wykorzystując pomiary XPS pokazano, że wstawienie dodatkowej warstwy pośredniej Al pomiędzy warstwę Mg i Pd prowadzi do znacznego zwiększenia obszaru wykazującego wymieszanie pierwiastków w pobliżu interfejsu. Pomiary transmisji światła prowadzone podczas wodorowania pozwoliły ustalić, że pomimo tego trójwarstwa Pd/Al/Mg z grubością warstwy pośredniej Al wynoszącą około 0,5 nm wykazała zwiększenie kinetyki wodornienia w temperaturze pokojowej [W6].

Bibliografia

[1] K. Szulc, F. Lisiecki, A. Makarov, M. Zelent, P. Kuświk, H. Głowiński, J. W. Kłos, M. Münzenberg, R. Gieniusz, J. Dubowik, F. Stobiecki, and M. Krawczyk

Remagnetization in arrays of ferromagnetic nanostripes with periodic and quasiperiodic order
PHYSICAL REVIEW B 99, 064412 (2019)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.064412>

[2] P. Kuświk, P. L. Gastelois, M. M. Soares, H. C. N. Tolentino, M. De Santis, A. Y. Ramos, A. D. Lamirand, M. Przybylski, and J. Kirschner

Effect of CoO/Ni orthogonal exchange coupling on perpendicular anisotropy of Ni films on Pd(001)
PHYSICAL REVIEW B 91, 134413 (2015)

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.91.134413>

[3] M. Matczak, R. Schäfer, M. Urbaniak, B. Szymański, P. Kuświk, A. Jarosz, M. Schmidt, J. Aleksiejew, S. Jurga, and F. Stobiecki

Domain wall generated by graded interlayer coupling in Co/Pt/Co film with perpendicular anisotropy

Appl. Phys. Lett. 107, 012404 (2015) <https://doi.org/10.1063/1.4926357>

[4] P. Kuświk, B. Szymański, B. Anastaziak, M. Matczak, M. Urbaniak, A. Ehresmann, and F. Stobiecki

Enhancement of perpendicular magnetic anisotropy of Co layer in exchange-biased Au/Co/NiO/Au polycrystalline system

J. Appl. Phys. 119, 215307 (2016) <https://doi.org/10.1063/1.4952706>

[5] J. Dubowik, P. Kuświk, M. Matczak, W. Bednarski, F. Stobiecki, P. Aleshkevych, H. Szymczak, M. Kisielewski, and J. Kisielewski

Ferromagnetic resonance and resonance modes in kagome lattices: From an open to a closed

kagome structure

PHYSICAL REVIEW B 93, 224423 (2016) <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.93.224423>

[6] P. Kuświk, P. L. Gastelois, H. Głowiński, M. Przybylski, and J. Kirschner

Impact of orthogonal exchange coupling on magnetic anisotropy in antiferromagnetic

oxides/ferromagnetic systems

J. Phys.: Condens. Matter 28 (2016) 425001 <http://dx.doi.org/10.1088/0953-8984/28/42/425001>

~~[7] M. Matczak, R. Schäfer, M. Urbaniak, P. Kuświk, B. Szymański, M. Schmidt, J. Aleksiejew, F. Stobiecki~~

~~Influence of domain structure induced coupling on magnetization reversal of Co/Pt/Co film with perpendicular anisotropy~~

~~Journal of Magnetism and Magnetic Materials 422 (2017) 465–469~~

~~<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.09.042>~~

[8] A. Krysztofik, H. Głowiński, P. Kuświk, S. Ziętek, L. E. Coy, J. N. Rychły, S. Jurga, T. W. Stobiecki, and J. Dubowik

Characterization of spin wave propagation in (1 1 1) YIG thin films with large anisotropy

J. Phys. D: Appl. Phys. 50 (2017) 235004 <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa6df0>

[9] A. Krysztofik, L. E. Coy, P. Kuświk, K. Załęski, H. Głowiński, and J. Dubowik

Ultra-low damping in lift-off structured yttrium iron garnet thin films

APPLIED PHYSICS LETTERS 111, 192404 (2017) <https://doi.org/10.1063/1.5002004>

[10] W. Koczorowski, P. Kuświk, M. Przychodnia, K. Wiesner, S. El-Ahmar, M. Szybowicz, M. Nowicki, W. Strupiński, R. Czajka

CMOS-compatible fabrication method of graphene-based micro devices

Materials Science in Semiconductor Processing 67 (2017) 92

<http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2017.05.021>

[11] S. El-Ahmar, W. Koczorowski, A. A. Poźniak, P. Kuświk, W. Strupiński,
and R. Czajka

Graphene-based magnetoresistance device utilizing strip pattern geometry

APPLIED PHYSICS LETTERS 110, 043503 (2017) <http://dx.doi.org/10.1063/1.4974938>

[12] P. Kuświk, H. Głowiński, E. Coy, J. Dubowik, and F. Stobiecki

Perpendicularly magnetized $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ layer sandwiched between Au with low
Gilbert damping

J. Phys.: Condens. Matter 29 (2017) 435803 <https://doi.org/10.1088/1361-648X/aa834d>

[13] P. Kuświk, M. Matczak, M. Kowacz, K. Szuba-Jabłoński, N. Michalak, B. Szymański, A. Ehresmann,
and F. Stobiecki

Asymmetric domain wall propagation caused by interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction
in exchange biased Au/Co/NiO layered system

PHYSICAL REVIEW B 97, 024404 (2018) <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.97.024404>

[14] P. Kuświk, M. Matczak, M. Kowacz, F. Lisiecki, F. Stobiecki

Determination of the Dzyaloshinskii-Moriya interaction in exchange biased Au/Co/NiO systems

Journal of Magnetism and magnetic Materials 472(2019) 29
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.10.002>

[15] J. Loehr, D. de las Heras, M. Loenne, J. Bugase, A. Jarosz, M. Urbaniak, F. Stobiecki, A. Tomita, R.
Huhnstock, I. Koch, A. Ehresmann, D. Holzinger, T. Fischer
Lattice symmetries and the topologically protected transport of colloidal particles
Soft Matter 13, 5044 (2017) DOI: 10.1039/c7sm00983f

[16] P. Kuświk, A. Gaul, M. Urbaniak, M. Schmidt, J. Aleksiejew, A. Ehresmann, and F. Stobiecki

Tailoring Perpendicular Exchange Bias Coupling in Au/Co/NiO Systems by Ion Bombardment

Nanomaterials 2018, 8, 813 <http://dx.doi.org/10.3390/nano8100813>

[17] Ł. Frąckowiak, P. Kuświk, M. Urbaniak, G. D. Chaves-O'Flynn & F. Stobiecki

Wide-range tuning of interfacial exchange coupling between ferromagnetic Au/Co and ferrimagnetic
Tb/Fe(Co) multilayers

Scientific Reports (2018) 8:16911 DOI:10.1038/s41598-018-35042-x

[18] F. Lisiecki, J. Rychły, P. Kuświk, H. Głowiński, J. W. Kłós, F. Groß, I. Bykova, M. Weigand, M. Zelent,
E. J. Goering, G. Schütz, G. Gubbiotti, M. Krawczyk, F. Stobiecki, J. Dubowik, and J. Gräfe

Reprogrammability and Scalability of Magnonic Fibonacci Quasicrystals

PHYSICAL REVIEW APPLIED 11, 054003 (2019) <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevApplied.11.054003>

[19] F. Lisiecki, J. Rychły, P. Kuświk, H. Głowiński, J. W. Kłos, F. Groß, N. Träger, I. Bykova, M. Weigand, M. Zelent, E. J. Goering, G. Schütz, M. Krawczyk, F. Stobiecki, J. Dubowik, and J. Gräfe

Magnons in a Quasicrystal: Propagation, Extinction, and Localization of Spin Waves in Fibonacci Structures

PHYSICAL REVIEW APPLIED 11, 054061 (2019) <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevApplied.11.054061>

[20] H. Głowiński, F. Lisiecki, P. Kuświk, J. Dubowik, F. Stobiecki

Influence of adjacent layers on the damping of magnetization precession in $\text{Co}_x\text{Fe}_{100-x}$ films

Journal of Alloys and Compounds 785 (2019) 891e896 <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.261>

[21] Ł. Frąckowiak, P. Kuświk, G. D. Chaves-O' Flynn, M. Urbaniak, M. Matczak, P. P. Michałowski, A. Maziewski, M. Reginka, A. Ehresmann, and F. Stobiecki

Magnetic Domains without Domain Walls: A Unique Effect of He^+ Ion Bombardment in Ferrimagnetic Tb/Co Films

PHYSICAL REVIEW LETTERS 124, 047203 (2020) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.047203>

[22] N. Träger, P. Gruszecki, F. Lisiecki, F. Groß, J. Förster, M. Weigand, H. Głowiński, P. Kuświk, J. Dubowik, M. Krawczyk and J. Gräfe

Demonstration of k-vector selective microscopy for nanoscale mapping of higher order spin wave modes

Nanoscale, 2020, 12, 17238 DOI: 10.1039/d0nr02132f

[23] N. Träger, P. Gruszecki, F. Lisiecki, J. Förster, M. Weigand, S. Wintz, H. Stoll, H. Głowiński, P. Kuświk, M. Krawczyk and J. Gräfe

Direct Imaging of High-Frequency Multimode Spin Wave Propagation in Cobalt-Iron Waveguides Using X-Ray Microscopy beyond 10 GHz

Phys. Status Solidi RRL 2020, 14, 2000373 DOI: 10.1002/pssr.202000373

[24] Ł. Frąckowiak, F. Stobiecki, G. D. Chaves-O' Flynn, M. Urbaniak, M. Schmidt, M. Matczak, A. Maziewski, M. Reginka, A. Ehresmann, and P. Kuświk

Subsystem domination influence on magnetization reversal in designed magnetic patterns in ferrimagnetic Tb/Co multilayers

Scientific Reports | (2021) 11:1041 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80004-x>

[25] N. Träger, F. Lisiecki, R. Lawitzki, M. Weigand, H. Głowiński, G. Schütz, G. Schmitz, P. Kuświk, M. Krawczyk, J. Gräfe, and P. Gruszecki

Competing spin wave emission mechanisms revealed by time-resolved x-ray microscopy

PHYSICAL REVIEW B 103, 014430 (2021) <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.014430>

[26] N. Träger, P. Gruszecki, F. Lisiecki, F. Groß, J. Förster, M. Weigand, H. Głowiński, P. Kuświk, J. Dubowik, G. Schütz, M. Krawczyk, and J. Gräfe

Real-Space Observation of Magnon Interaction with Driven Space-Time Crystals

PHYSICAL REVIEW LETTERS 126, 057201 (2021) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.057201>

[27] M. Kowacz, B. Anastaziak, M. Schmidt, F. Stobiecki, and P. Kuświk

Strong Interfacial Perpendicular Magnetic Anisotropy in Exchange-Biased NiO/Co/Au and NiO/Co/NiO Layered Systems

Materials 2021, 14, 1237 <https://doi.org/10.3390/ma14051237>

[28] F. Schulz, R. Lawitzki, H. Głowiński, F. Lisiecki, N. Träger, P. Kuświk, E. Goering, G. Schütz, J. Gräfe

Increase of Gilbert damping in Permalloy thin films due to heat-induced structural changes

J. Appl. Phys. 129, 153903 (2021); <https://doi.org/10.1063/5.0049804>

[29] C. Swindells, H. Głowiński, Y. Choi, D. Haskel, P. P. Michałowski, T. Hase, P. Kuświk, and D. Atkinson

Proximity-induced magnetism and the enhancement of damping in ferromagnetic/heavy metal systems

Appl. Phys. Lett. 119, 152401 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0064336>

[30] Ł. Frąckowiak, F. Stobiecki, M. Urbaniak, M. Matczak, G.D. Chaves-O'Flynn, M. Bilski, A. Glenz, P. Kuświk

Magnetic properties of Co-Tb alloy films and Tb/Co multilayers as a function of concentration and thickness

Journal of Magnetism and Magnetic Materials 544 (2022) 168682
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.168682>

[31] C. Swindells, H. Głowiński, Y. Choi, D. Haskel, P. P. Michałowski, T. Hase, F. Stobiecki, P. Kuświk, and D. Atkinson

Magnetic damping in ferromagnetic/heavy-metal systems: The role of interfaces and the relation to proximity-induced magnetism

PHYSICAL REVIEW B 105, 094433 (2022) <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.105.094433>

[32] B. Anastaziak, H. Głowiński, M. Urbaniak, Ł. Frąckowiak, F. Stobiecki, and P. Kuświk

Origin of Perpendicular Magnetic Anisotropy Enhancement in Co/Ni Bilayer Due to Plasma Oxidation

Phys. Status Solidi RRL 2022, 16, 2100450 <https://doi.org/10.1002/pssr.202100450>

[33] M. Kowacz, P. Mazalski, I. Sveklo, M. Matczak, B. Anastaziak, U. Guzowska, A.K. Dihman, E. Madej, A. Maziewski, P. Kuswik, and R. Geniusz

Strong interfacial Dzyaloshinskii–Moriya induced in Co due to contact with NiO

Scientific Reports (2022) 12:12741 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16997-4>

[34] B. Anastaziak, W. Andrzejewska, M. Schmidt, M. Matczak, I. Soldatov, R. Schäfer, M. Lewandowski, F. Stobiecki, C. Janzen, A. Ehresmann, P. Kuświk

Magnetic patterning of Co/Ni layered systems by plasma oxidation

Scientific Reports (2022) 12:22060 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26604-1>

[35] M. Kowacz, M. Matczak, M. Schmidt, F. Stobiecki, P. Kuświk

Correlation between anisotropy and concentration profiles of Ir/Co/Pt system modified by Ga+ bombardment with different energies

Journal of Magnetism and Magnetic Materials 587 (2023) 171271
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171271>

[36] R. Huhnstock, L. Paetzold, M. Merkel, P. Kuświk. And A. Ehresmann

Combined Funnel, Concentrator, and Particle Valve Functional Element for Magnetophoretic Bead Transport Based on Engineered Magnetic Domain Patterns

Small 2024, 20, 2305675 DOI: 10.1002/sml.202305675

[37] N.C.X. Stuhlmüller, F. Farrokhzad, P. Kuświk, F. Stobiecki, M. Urbaniak, S. Akhundzada, A. Ehresmann, T.M. Fischer, D. de las Heras

Simultaneous and independent topological control of identical microparticles in nonperiodic energy landscapes

Nature Communications (2023) 14:7517 <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43390-0>

[38] J. Elschner, F. Farrokhzad, P. Kuświk, M. Urbaniak, F. Stobiecki, S. Akhundzada, A. Ehresmann, D. de las Heras, T.M. Fischer

Topologically controlled synthesis of active colloidal bipeds

Nature Communications (2024) 15:5735 <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50023-7>

[39] K. Załęski, M. Ekholm, B. Alling, I.A. Abrikosov, J. Dubowik

Local atomic configuration approach to the nonmonotonic concentration dependence of magnetic properties of $Ni_2Mn_{1+x}Z_{1-x}$ ($Z = In, Sn, Sb$) Heusler alloys

Scripta Materialia 194 (2021) 113646 <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2020.113646>

[41] V.V. Kudryavtsev, A.E. Perekos, N.V. Uvarov, M.R. Kolchiba, K. Synoradzki, J. Dubowik

Mixed structural face-centered cubic and body-centered cubic orders in near stoichiometric Fe_2MnGa alloys

JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 119, 205103 (2016) <http://dx.doi.org/10.1063/1.4952392>

[42] M. Urbaniak, D. Holzinger, A. Ehresmann, F. Stobiecki

Magnetophoretic lensing by concentric topographic cylinders of perpendicular magnetic anisotropy multilayers

BIOMICROFLUIDICS 12, 044117 (2018) <https://doi.org/10.1063/1.5034516>

[W1] J. Skoryna, A. Marczyńska, M. Lewandowski, L. Smardz

Modification of interlayer exchange coupling in Fe/V/Fe trilayers using hydrogen

J, Alloys and Compunds 2015 <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.12.238>

[W2] M. Wachowiak, A. Marczyńska, H. Dawczak-Dębicki, M. Pugaczowa-Michalska, S. Pacanowski, Ł. Majchrzycki, and L. Smardz

Modification of Exchange Coupling in Fe/Nb/Fe/Pd Layered Structures using Hydrogen

Acta Physica Polonica A 133 (2018) 609 <http://doi.org/10.12693/APhysPolA.133.609>

- [W3] S. Pacanowski, A. Marczyńska, H. Dawczak-Dębicki, B. Jabłoński, B. Szymański, and L. Smardz
Magnetisation and Hydrogenation of Mg/Ni Multilayers
Acta Physica Polonica A **133** (2018) 617 <http://doi.org/10.12693/APhysPolA.133.617>
- [W4] M. Wachowiak, L. Smardz
Influence of Ni interlayer on hydrogen absorption and cyclicity in Gd thin films
International Journal of Hydrogen Energy **48**, (2023), 26840
- [W5] A. Marczyńska, S. Pacanowski, B. Szymański, and L. Smardz
Hydrogen Absorption in Gd Thin Films
Acta Physica Polonica A **133** (2018) 624 <http://doi.org/10.12693/APhysPolA.133.624>
- [W6] S. Pacanowski, M. Wachowiak, B. Jabłoński, B. Szymański, L. Smardz
Interface mixing and hydrogen absorption in Pd/Mg and Pd/Al/Mg thin films
International Journal of Hydrogen Energy **46** (2021) 806
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.175>