

# Układy cienkowarstwowe o prostopadłej anizotropii magnetycznej sterowalnej polem elektrycznym

Anna Kozioł-Rachwał

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Niskowymiarowe układy magnetyczne od dziesięcioleci przyciągają uwagę badaczy a eksploracja ich właściwości jest ważna zarówno z punktu widzenia badań podstawowych jak i potencjalnych możliwości aplikacyjnych. Jednym ze skutków obniżenia wymiaru układu magnetycznego jest modyfikacja jego anizotropii magnetycznej (*Magnetic Anisotropy* - MA). Wraz z obniżeniem grubości układu zaczyna rosnać udział składowej powierzchniowej MA, która często faworyzuje kierunek namagnesowania prostopadły do powierzchni warstwy.<sup>1</sup>

Obliczenia teoretyczne donoszą o prostopadłej anizotropii magnetycznej (*Perpendicular Magnetic Anisotropy* - PMA) ultra cienkich warstw Fe w kontakcie z MgO.<sup>2</sup> Badania eksperymentalne potwierdziły istnienie PMA w temperaturze pokojowej w układzie MgO/Fe/MgO,<sup>3</sup> MgO/Fe/Cr<sup>4,5,6</sup> czy MgO/Fe/V.<sup>7</sup> Dodatkowo, dla warstw MgO/Fe/Cr oraz MgO/Fe/V pokazano, że anizotropia magnetyczna warstw Fe może być kontrolowana poprzez pole elektryczne (*Voltage Controlled Magnetic Anisotropy* - VCMA), co otworzyło potencjalne możliwości wykorzystania układów wykazujących efekt VCMA w pamięciach magnetycznych nowej generacji.<sup>8</sup>

W swoim referacie zaprezentuję wyniki badań nad anizotropią magnetyczną oraz możliwością jej modulacji poprzez pole elektryczne w układzie MgO/Fe/Cr. Pokażę, jak zwiększyć PMA w układzie poprzez zastosowanie buforowej warstwy MgO.<sup>6</sup> Przedstawię wyniki badań nad wpływem pola elektrycznego na MA w układzie<sup>9</sup> oraz pokażę, że PMA oraz efekt VCMA zaobserwowany dla warstw Fe w układzie MgO/Fe/Cr mogą być wzmocnione poprzez umieszczenie ultra cienkiej warstwy Cr w interfejsie MgO/Fe.<sup>10</sup> Przedyskutowane zostaną również wyniki badań nad wpływem obecności atomów Ir w warstwie Fe na anizotropię magnetyczną oraz efekt VCMA w układzie MgO/Fe/Cr.<sup>11</sup>

---

<sup>1</sup> U. Gradmann and J. Müller, Phys. Status Solidi 27, 313 (1968).

<sup>2</sup> A. Hallal, H. X. Yang, B. Dieny, M. Chshiev, Phys. Rev. B 93, 1-5 (2016).

<sup>3</sup> A. Kozioł-Rachwał, W. Skowroński, T. Słęczak, D. Wilgocka-Słęczak, J. Przewoźnik, T. Stobiecki, Q. H. Qin, S. van Dijken and J. Korecki, Journal of Applied Physics 114, 224307 (2013).

<sup>4</sup> J. W. Koo, S. Mitani, T. T. Sasaki, H. Sukegawa, Z. C. Wen, T. Ohkubo, T. Niizeki, K. Inomata, and K. Hono, Appl. Phys. Lett. 103, 192401 (2013).

<sup>5</sup> C.-H. Lambert, A. Rajanikanth, T. Hauet, S. Mangin, E. E. Fullerton, and S. Andrieu, Appl. Phys. Lett. 102, 122410 (2013).

<sup>6</sup> A. Kozioł-Rachwał, T. Nozaki, V. Zayets, H. Kubota, A. Fukushima, S. Yuasa, and Y. Suzuki, J. Appl. Phys. 120, 085303 (2016).

<sup>7</sup> C.-H. Lambert, A. Rajanikanth, T. Hauet, S. Mangin, E. E. Fullerton, and S. Andrieu, Appl. Phys. Lett. 102, 122410 (2013).

<sup>8</sup> P. K. Amiri, J. G. Alzate, X. Q. Cai, F. Ebrahimi, Q. Hu, K. Wong, C. Grèzes, H. Lee, G. Yu, X. Li, M. Akyol, Q. Shao, J. A. Katine, J. Langer, B. Ocker, and K. L. Wang, IEEE Trans. Magn. 51, 11 (2015).

<sup>9</sup> T. Nozaki, A. Kozioł-Rachwał, W. Skowroński, V. Zayets, Y. Shiota, S. Tamaru, H. Kubota, A. Fukushima, S. Yuasa, and Y. Suzuki, Phys. Rev. Applied 5, 044006 (2016).

<sup>10</sup> A. Kozioł-Rachwał, T. Nozaki, K. Freindl, J. Korecki, S. Yuasa and Y. Suzuki, <http://arxiv.org/abs/1701.00048>.

<sup>11</sup> T. Nozaki, A. Kozioł-Rachwał, M. Tsujikawa, Y. Shiota, X. Xu, T. Ohkubo, T. Tsukahara, S. Miwa, M. Suzuki, S. Tamaru, H. Kubota, A. Fukushima, K. Hono, M. Shirai, Y. Suzuki, and S. Yuasa, wysłano do publikacji.