

Spintronika

M. Křelina

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

krelimic@fjfi.cvut.cz

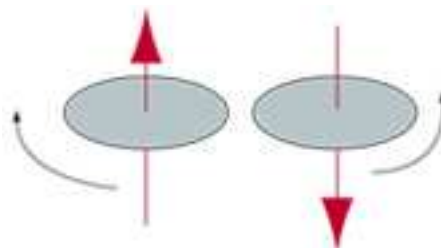
Abstrakt

Cílem tohoto příspěvku je seznámit čtenáře pojmy jako je spin elektronu, spintronika, včetně vysvětlení fyzikální podstaty a seznámení s aplikací a vývojem v oblasti spintroniky včetně v České republice.

1 Co je spintronika a spin?

Dnešní klasická elektronika funguje na principu přenosu náboje elektronem, čehož využíváme k přenosu informací. Ve spintronice rovněž využíváme elektronu, akorát kromě přenosu náboje využíváme jedné z kvantových vlastností elektronu – spinu. Obecně se používá termín, že spin je orientován nahoru nebo dolů vůči nějaké reference, například magnetické pole. Tato orientace je způsobena vlastním otáčivým momentem elektronu. Ve skutečnosti se elektron neotáčí, ale jakoby se v něm něco „vrtělo“, což podporuje teorii, že i elektron se skládá z menších částic. Avšak obecně pro vysvětlení pojmu spinu jednoduše používáme pojem, že se otáčí elektron kolem své osy a spiny jsou orientovány nahoru nebo dolů.

Spin je znám vědcům už po celé dvacáté století. Prvnímu významnému použití se spin dočkal až v roce 1997 v hlavách harddisků aplikací jevu gigantické magnetorezistence (GMR – Giant Magnetoresistance, objeveno v 1988). V současnosti je trend výzkumu využití spintroniky v oblasti polovodičů.



Obr. 1 Orientace spinu elektronu

2 Fyzikální princip spinu

Ačkoliv je spin kvantovou vlastností elektronu, můžeme při troše představivosti nastínit princip spinu pomocí klasické fyziky elektřiny a magnetismu.

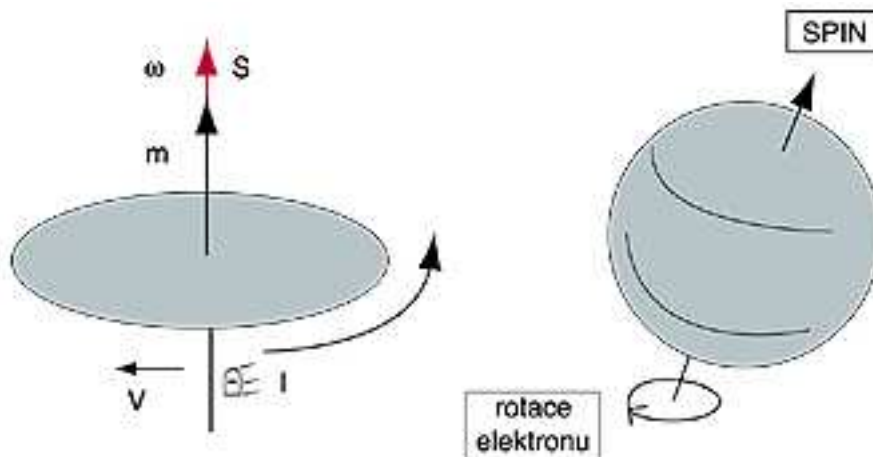
Elektron si můžeme představit jako miniaturní kouli otáčející se kolem své vlastní osy. Na povrchu takovéto koule mějme rozložen náboj q , Obr 2. Definujeme-li mikrofyzikální proud

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad (1)$$

obíhající náboj pak odpovídá proudové smyčce, která vytváří magnetické pole s vlastním magnetickým momentem – spinovým magnetický moment

$$\mathbf{m} = \mathbf{v}_0 \cdot I \cdot \mathbf{S} \quad (2)$$

Uvažujeme li o ploše koule S jako vektoru, v_0 rychlost elektronu, proud I směřující vždy opačně než je směr pohybu elektronu, poté je směr vektoru m stejný jako směr vektoru rotace ω a tudíž spinový magnetický moment m s pravidlem pravé ruky může mít pouze jeden ze dvou směrů, nahoru nebo dolů.



Obr. 2 K definici magnetického momentu elektronu m

Takovéto chování v souladu s Maxwellovými rovnicemi charakterizuje magnetické vlastnosti. Z toho nám vyplývá, že spin si můžeme představit jako tyčový magnet s orientací pólů S a J , respektive nahoru a dolů, viz Obr. 1.

3 Aplikace spinů

Aplikaci spinu můžeme rozdělit na 3 skupiny:

- 1) Využití spinu v prvcích na bázi kovu – tato aplikace spinů je v plném provozu, například ve výše zmíněných harddiscích.
- 2) Využití v magnetických polovodičových prvcích – je aktuální náplní vývoje a vědců v oblasti spintroniky.
- 3) Využití v zařízení, která by pracovala s jednotlivými spiny elektronů - tato možnost je zatím pouze teoretická a mohla by vést ke konstrukci spinového kvantového počítače.

4 Využití spinu v prvcích na bázi kovu

Elektrony ve vodičích a polovodičích mají spin uspořádaný různě a počet spinů nahoru se zhruba rovná počtu spinů orientovaným dolů. Ve feromagnetických materiálech, jako je železo nebo kobalt jeden směr spinů významně převažuje nad druhým a tím pádem určuje, kde bude mít magnet severní a jižní pól.

Gigantická magnetorezistence

Efekt gigantické magnetorezistence aplikovaný v harddiscích umožňuje několikanásobně zvýšit kapacitu. Ta je závislá na rozlišovací schopnosti čidla na čtecí hlavě, která se pohybuje nad médiem v magnetickém poli a zaznamenává změnu odporu (magnetorezistence), které můžeme zvýšit pomocí tzv. spinových ventilů.



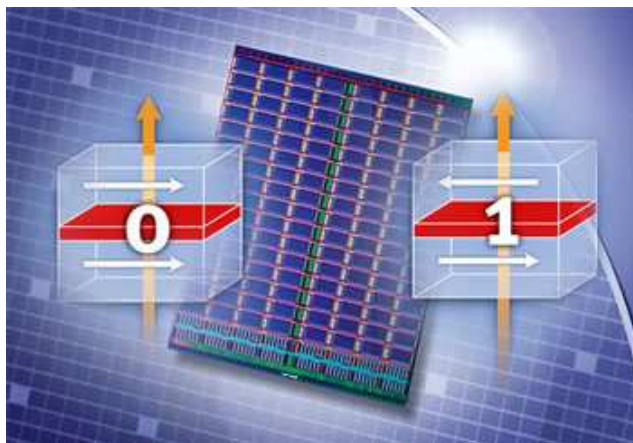
Obr. 3 Vlevo: Proud neprotéká, vpravo: Proud protéká

Spinový ventil se skládá ze dvou feromagnetických vrstev, mezi kterými je vrstva z nemagnetického kovu, Obr. 3. Horní feromagnetická vrstva je neměnná, dolní vrstva se mění dle směru magnetizace čteného záznamu. Jsou-li orientace obou feromagnetických vrstev stejné (na obrázku vpravo), jednotkou protéká proud elektronů se souhlasnou orientací spinu. Naopak, jsou-li obě orientace opačné (na obrázku vlevo), cesta elektronům obou polarizací je uzavřena.

Toto řešení umožňuje až 200 násobně zvýšit citlivost oproti původní magnetorezistenci. Efekt gigantické magnetorezistence byl na harddiscích aplikován kolem roku 1997 a od té doby kapacita disků významně roste.

Magnetické paměti typu MRAM

Paměti typu MRAM by měli pomalu nahradit klasické paměti RAM, jejich přední výhodou je, že neztratí informace po odpojení od energetického zdroje, dále menší energetická náročnost, levnější cena a velká rychlost.



Obr. 4 Magnetická paměť MRAM

U paměti MRAM se využije stejného principu spinových ventilů, jako jsou u harddisků, tj. dvě vrstvy feromagnetického kovu, mezi kterými je nemagnetický kov. MRAM by se měl skládat z spinových ventilů, u kterých budeme měnit jednu z feromagnetických vrstev. Jsou-li polarizace obou feromagnetických vrstev souhlasné v takovém případě je přečtena binární hodnota 1. Při opačné orientaci feromagnetických vrstev proud neprochází a element nese hodnotu 0.

5 Využití v magnetických polovodičových prvcích

V současné době je v spintronových polovodičích zájem upřen na hledání vhodného magnetického polovodičového materiálu, který by měl vlastnosti podobné feromagnetickým materiálům. Takovéto nové materiály se označují DMS (Dilute Magnetic Semiconductor). Největší problém je, aby takovéto materiály zachovaly své feromagnetické vlastnosti i při pokojové teplotě. Zatím se nejlépe jeví asi spojení (GaMn)As – arsenid galia dopovaný několika procenty magnetických iontů manganu. Tento materiál ztrácí své feromagnetické

vlastnosti při Curieově teplotě, cca 100°C. Výzkumu tohoto materiálu se také ve velkém měřítku zabývají i ve Fyzikálním ústavě AV ČR. Dále se také slibně jeví i nitridy rovněž dopované manganem.

Někteří výzkumníci z Fyzikálního ústavu AV ČR stáli už u počátku hledání vhodného materiálu. Fyzikální ústav AV ČR také spravuje a aktualizuje databázi výzkumu feromagnetických polovodičů, která je dostupná i na webu na adrese <http://unix12.fzu.cz/ms/index.php>.

6 Závěr

Až budeme schopni vyrábět vhodnou strukturu polovodičového feromagnetického materiálu i za pokojových teplot, zaujme polovodičová spintronika důležité místo. Jednou z jejích prvních aplikací pravděpodobně budou různé detektory s vysokou citlivostí a jednoduché polovodičové součástky, jako je například dioda.

Reference

- [1] J. Kodeš, Spintronika – perspektiva elektroniky v 21. Století, <http://www.stech.cz/articles.asp?ida=624&idk=97>, 10.5.2008
- [2] P. Cejnar, Spintronika pod lupou, <http://www.scienceworld.cz/sw.nsf/0/ABF36775AA596864C1256EA100353BCC?OpenDocument&cast=1>, 10.5.2008
- [3] L. Smrčka, P. Svoboda, Spintronika dnes a zítra, <http://www.fzu.cz/~nanoteam/what/Smrcka-TT-2005-2.pdf>, 10.5.2008
- [4] L. Yarris, The Current Spin on Spintronics, <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2006/Jan/02-spin-drag.html>, 10.5.2008