

Ni/Pt 异质结界面的自旋阻塞效应*

杜梦瑶 邱志勇†

(大连理工大学材料科学与工程学院, 三束材料改性教育部重点实验, 大连 116000)

(2022 年 12 月 1 日收到; 2022 年 12 月 12 日收到修改稿)

相比于电荷流的高功耗, 自旋流可以高效地传输能量与信息的同时避免焦耳热的产生, 因此基于自旋流的电子器件成为未来电子信息器件研发的重要方向之一. 自旋流及其输运现象的相关研究是自旋电子学器件的开发基础. 本文着眼于铁磁金属镍 (Ni) 与非磁重金属 (Pt) 构建的异质结结构, 研究了异质结界面的自旋输运特性, 发现其对扩散自旋流的全阻塞效应. 本工作以基于钇铁石榴石 (yttrium iron garnet, YIG) 的 YIG/Ni/Pt 三层器件开展, 采用自旋泵浦技术激发扩散自旋流注入到镍中, 同时检测与分析器件中的逆自旋霍尔电压, 并与 YIG/Ni 双层器件中的信号进行对比分析. 结果证明 YIG/Ni/Pt 三层器件中的铂金属层仅起分流作用而对逆自旋霍尔电流无贡献, 即镍层中的扩散自旋流被阻塞于 Ni/Pt 异质结界面. 本工作加深了对界面处自旋流输运的认识, 铁磁性金属/非磁重金属自旋流阻塞界面的发现也为自旋电子器件的设计及新功能开发提供了新的思路与手段.

关键词: 自旋流, 异质结界面, 自旋阻塞, 自旋泵浦**PACS:** 75.70.Cn, 81.15.Cd, 75.76.+j**DOI:** 10.7498/aps.72.20222288

1 引言

自旋电子学是以电子的量子自由度自旋为核心对象的研究领域, 以自旋为信息或能量载体的器件研制是自旋电子学的核心研究课题之一^[1-4]. 与传统的基于电荷的电子器件相比, 自旋电子器件具有非易失、高速度和低热损等特点, 有望成为下一代电子学器件的发展方向. 自旋流的产生、输运及检测是自旋电子器件及其相关研发的基本问题^[5-10]. 其中, 由于自旋流与传输介质之间具有复杂的相互作用, 导致自旋流输运相关现象长期成为自旋流研究的难点及热点^[11-15]. 不同的材料及界面状态对自旋流传输影响的研究对开发新型自旋电子学器件具有重要意义.

正如诺贝尔物理学奖得主 Herbert Kroemer 的名言^[16]“界面即器件”所述, 在现代电子器件中界面对其功能和性能的主导作用毋庸置疑, 对自

旋电子器件亦然. 针对自旋流传输现象, 金属与金属界面处发生的自旋流反射、损耗和透射现象 (图 1(a)) 已被大量研究. Kurt 等^[17] 在分析 Cu/Pt 与 Cu/Pd 界面的自旋输运时, 观察到自旋损耗导致的自旋流不连续现象. Nguyen 等^[18] 发现在 Co/Pt 界面处具有较大的自旋翻转系数, 暗示了自旋极化电流在铁磁层和铂金属层界面处存在无法忽视的耗散. Rojas-Sánchez^[19,20] 等工作也强调了 Co/Pt 和 Cu/Pt 界面处的自旋损耗, 并认为 3d 过渡金属/5d 非磁重金属界面的扩散和有序是发生损耗的主要原因. 从自旋流的传输效率出发, 追求低自旋损耗的界面是该领域的主流方向, 而对高自旋损耗或全反射的界面 (图 1(b)) 的相关研究却鲜有涉及.

本工作以铁磁性金属镍 (Ni) 与非磁重金属铂 (Pt) 异质结界面为研究对象, 对界面处的自旋流输运现象进行了系统研究. 制备了不同 Ni 层厚度的 YIG/Ni/Pt 三层器件及 YIG/Ni 双层对比器件.

* 国家自然科学基金 (批准号: 11874098, 52171173) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: qiuzy@dlut.edu.cn

利用图 1(c) 中所示的自旋泵浦技术激发自旋流并注入镍层, 测量并对比分析 YIG/Ni/Pt 三层器件与 YIG/Ni 双层器件的逆自旋霍尔电压信号. 对金属异质结中的自旋流运输, 特别是界面处的自旋阻塞进行探讨.

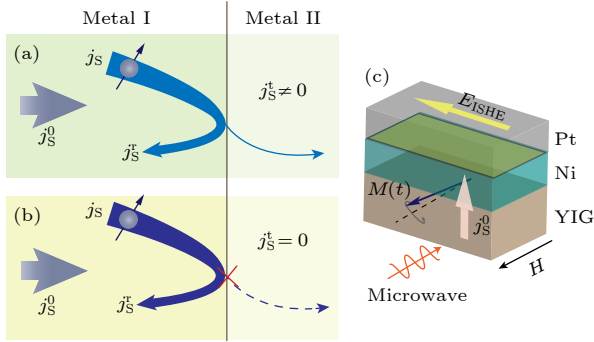


图 1 金属/金属界面处自旋流传输 (a) 与自旋流阻塞 (b) 示意图; (c) 自旋泵浦效应诱导的自旋注入及逆自旋霍尔效应测量的原理图

Fig. 1. Illustration of the spin transport (a) and spin block (b) at a metal/metal interface; (c) illustration of spin injection by spin pumping effect and inverse spin Hall effect measurement.

2 实验原理与方法

本工作中的 YIG 单晶基板通过液相外延法制备, 厚度约为 3 μm , 且所有器件的 YIG(规格为 1 mm \times 3 mm) 均取自同一晶元. 在 YIG 基板上利

用直流磁控溅射方法制备 Ni 及 Pt 薄膜, 构建了 YIG/Ni/Pt 三层及 YIG/Ni 双层器件. 其中 Ni 在室温下 0.5 Pa 的 Ar 气压及 30 W 的溅射功率下制备; Pt 在室温下 3 Pa 的 Ar 气压及 50 W 的溅射功率下制备. 图 2(a) 分别给出了 YIG/Ni/Pt 三层与 YIG/Ni 双层器件的结构示意图. 作为对比器件的 YIG/Ni 双层与 YIG/Ni/Pt 三层器件的 Ni 层为同时制备, 并严格控制制膜条件, 保证 Ni 层质量的一致性. 同时通过控制制膜时间改变 Ni 层厚度, 制备了 Ni 层厚度为 1—4 nm 的 4 组对比试样. 所有 YIG/Ni/Pt 三层器件中的 Pt 层厚度统一为 10 nm.

如图 2(a) 所示, 样品被放置在 U 形波导片的信号线正上方, 施加频率为 5 GHz 的微波, 同时沿着样品面内方向施加外磁场 H . 在微波场与外加磁场的共同作用下, YIG 中的铁磁共振被激发, 由自旋泵浦效应在 YIG/Ni 界面产生的自旋积累诱发自旋流通过界面注入到 Ni 层中 [21–23]. 由于 Ni 层及 Pt 层的逆自旋霍尔效应, 该自旋流可能被转化为电流并以电压的形式被检测到, 即逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} [24,25].

3 结果与讨论

图 2(b) 所示为样品在 300 K 下所测得的微波吸收谱. 在外磁场 $H \approx \pm 1.2$ kOe (1 Oe = 79.5775 A/m)

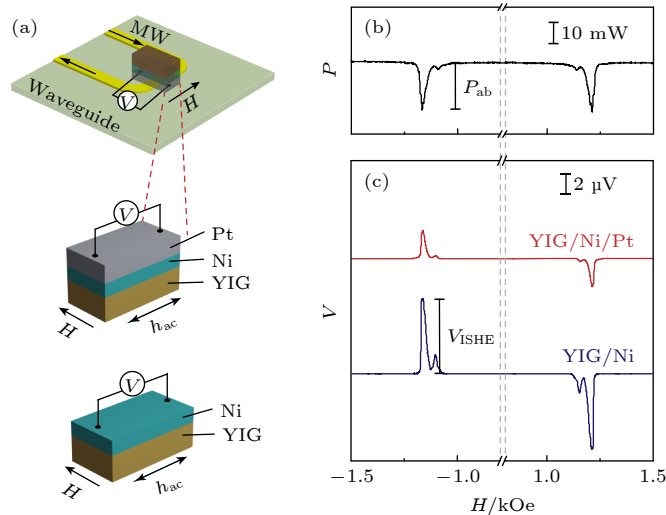


图 2 (a) 自旋泵浦实验设置与 YIG/Ni/Pt 三层器件及 YIG/Ni 双层器件的结构示意图; (b) 多层器件的典型微波吸收谱; (c) YIG/Ni(3 nm)/Pt 三层及 YIG/Ni(3 nm) 双层器件的电压信号 V 与外磁场 H 的依存关系图

Fig. 2. (a) Illustration of experimental spin pumping set-up of YIG/Ni/Pt trilayer and YIG/Ni bilayer devices; (b) the typical microwave absorption spectrum; (c) the external magnetic field H dependences of the voltage signals V for the YIG/Ni(3 nm)/Pt trilayer and YIG/Ni(3 nm) bilayer devices.

时,可以观测到两个对称的微波吸收峰,对应了 YIG 在 5 GHz 微波激发下的铁磁共振条件. 其中微波吸收峰的强度被定义为 P_{ab} , 其与注入 Ni 层的自旋流强度成正比^[26,27]. 本工作中的 YIG 均来自于同一晶元, 因此所有样品的微波吸收峰均出现在相同的磁场强度下, 该磁场被定义为 YIG 的铁磁共振场 H_{FMR} . 如图 2(c) 所示, 在 YIG/Ni/Pt 三层及 YIG/Ni 双层器件中均有峰形的电压信号在 YIG 铁磁共振场 H_{FMR} 处被检测到, 且电压信号峰的正负随外磁场的反转而反转. 基于自旋泵浦理论可将该电压峰归因于由 YIG 注入 Ni 层的自旋流转换而来的逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} ^[22–28].

图 3(a), (b) 所示为在 300 K 下在 Ni 层厚度分别为 1–4 nm 时 YIG/Ni/Pt 三层与 YIG/Ni 双层器件中测得的电压信号 V 与外磁场 H 的关系. 所有样品均在铁磁共振场 H_{FMR} 处检测到逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} . 然而, YIG/Ni 双层器件中的逆自旋霍尔电压均大于 YIG/Ni/Pt 三层器件, 且两种器件的逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 随 Ni 层厚度 d_{Ni} 的变化表现出不同的变化趋势. 对比两组不同结构器件的测量数据, 特别是 Ni 层厚度为 1 nm (远小于 Ni 的自旋扩散长^[29]) 情况下的逆自旋霍尔电压, 其测量结果似乎暗示了在 YIG/Ni/Pt 三层器件中 Pt 层并未对自旋流-电流的转换产生贡献.

图 3(c) 给出了两种不同结构器件的逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 与 Ni 层厚度 d_{Ni} 的关系. 其中, YIG/Ni

双层器件的逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 随 Ni 层厚度 d_{Ni} 的增大而单调减小, 且基本符合指数规律. 与之相对, YIG/Ni/Pt 三层器件的逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 却呈现先增大后减小的趋势, 且在 Ni 层厚度为 3 nm 处达到最大值, 该倾向主要是器件的内阻变化的结果. 在图 3(c) 的插图中给出了两种器件的横向电阻 R 与 Ni 层厚度 d_{Ni} 的依存关系图. 在两种不同结构器件中横向电阻 R 与逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 的变化均呈现一定的相似性. 由于逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 是由逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 与横向电阻 R 的乘积决定, 即 $V_{ISHE} = I_{ISHE} \cdot R$. 对于具有相同 Ni 层厚度的 YIG/Ni/Pt 三层器件而言, 其逆自旋霍尔电流可能来源于 Ni 层及 Pt 层的叠加贡献, 通过分析比较 YIG/Ni/Pt 三层及 YIG/Ni 双层器件中逆自旋霍尔电流的大小, 可以分别讨论 Ni 层和 Pt 层对逆自旋霍尔电流的贡献, 从而研究相关结构中自旋流的传输性质.

为进一步分析 YIG/Ni/Pt 三层和 YIG/Ni 双层器件中 Ni 层及 Pt 层分别对逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 的贡献, 首先基于自旋泵浦理论建立以下的等效电路模型^[24,30]. 对于 YIG/Ni 双层器件而言,

$$I_{ISHE}^{Ni} = w \int_0^{d_{Ni}} \theta_{ISHE} \left(\frac{2e}{\hbar} \right) j_S(z) dz, \quad (1)$$

式中, I_{ISHE}^{Ni} 为 Ni 层中由自旋流转换而来的逆自旋霍尔电流, 其可等效为电流为 I_{ISHE}^{Ni} 的电流源; w 为器件的宽度; θ_{ISHE} 为 Ni 的逆自旋霍尔角; $j_S(z)$ 为

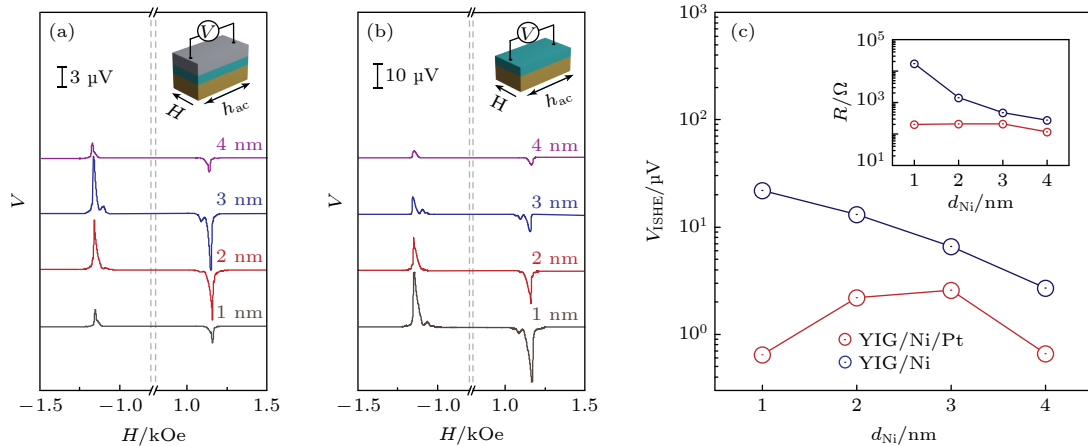


图 3 不同 Ni 层厚度 d_{Ni} 的 YIG/Ni/Pt 三层 (a) 及 YIG/Ni 双层器件 (b) 的电压信号 V 与外磁场 H 的关系; (c) 逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 与 Ni 层厚度 d_{Ni} 的关系 (插图两种器件的横向电阻 R 与 Ni 层厚度 d_{Ni} 的关系)

Fig. 3. The external magnetic field H dependences of the voltage signals V for the YIG/Ni/Pt trilayer devices (a) and the YIG/Ni bilayer devices (b) with different nickel layer thicknesses d_{Ni} ; (c) the nickel layer thickness d_{Ni} dependences of the inverse spin Hall voltage signal V_{ISHE} for the two series of devices (the inset shows the nickel layer thickness d_{Ni} dependences of the transverse resistances R).

垂直于面内方向距 YIG/Ni 界面距离为 z 处的扩散自旋流密度. 根据自旋泵浦模型, $j_S(z)$ 可用自旋流扩散方程描述^[22–26], 即

$$j_S(z) = \frac{\sinh[(d_{\text{Ni}} - z)/\lambda_{\text{Ni}}]}{\sinh(d_{\text{Ni}}/\lambda_{\text{Ni}})} j_S^0, \quad (2)$$

式中, λ_{Ni} 为 Ni 的自旋流扩散长度; j_S^0 为 YIG/Ni 界面处注入的自旋流密度. 本工作严格统一所有器件的测试条件, 特别是微波吸收功率 P_{ab} 仔细控制在 $\pm 1\%$ 的误差范围内. 基于铁磁共振的自旋泵浦模型可认为所有器件的测试中 YIG/Ni 界面处注入的自旋流强度 j_S^0 可比.

YIG/Ni 双层器件中测得的逆自旋霍尔电压信号 $V_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}}$ 是由器件中的等效电流源 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}}$ 与作用于横向电阻 R_{Ni} 两端所对应的电动势, 即 $V_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}} = I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}} \cdot R_{\text{Ni}}$. 其等效电路图如图 4 中左上方插图所示. 对于 YIG/Ni/Pt 三层器件而言, 其逆自旋霍尔电流可能来源于 Ni 层和 Pt 层的叠加贡献, 即

$$I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}} = I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}} + I_{\text{ISHE}}^{\text{Pt}}, \quad (3)$$

式中, $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}}$ 为 YIG/Ni/Pt 三层器件中的逆自旋霍尔电流, $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}}$ 与 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Pt}}$ 分别对应 Ni 层及 Pt 层对逆自旋霍尔电流的贡献. YIG/Ni/Pt 三层器件中测得的逆自旋霍尔电压信号 $V_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}}$ 亦可等效于电流源 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}}$ 与横向电阻 $R_{\text{Ni/Pt}}$ 的乘积, 即 $V_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}} = I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}} \cdot R_{\text{Ni/Pt}}$. 其等效电路如图 4 右下插图所示.

各器件中的逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 可由实际测得的逆自旋霍尔电压 V_{ISHE} 与横向电阻 R 的比值获得 (图 3(c)). 图 4 展示了 YIG/Ni/Pt 三层及 YIG/Ni 双层器件的逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 与 Ni 层厚度 d_{Ni} 的依存关系. YIG/Ni/Pt 三层及 YIG/Ni 双层器件的逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 显示了几乎相同的先增大后减小的趋势. 暗示了 Ni 的自旋扩散长的相关信息. 具有相同 Ni 层厚度的两种器件的逆自旋霍尔电流差均与实验误差可比.

在 YIG/Ni 双层器件中逆自旋霍尔电流 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}}$ 由 Ni 层单独贡献. 而在 YIG/Ni/Pt 三层器件中, 如果自旋流能穿过 Ni/Pt 界面注入 Pt 层, 则该自旋流会因 Pt 层中的逆自旋霍尔效应对 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}}$ 产生额外的贡献. 然而, 即使 Ni 层的厚度低至 1 nm (远小于 Ni 的自旋扩散长^[29]) 也没有观察到 YIG/Ni/Pt 三层器件的 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}}$ 比 YIG/Ni 双层器件的 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}}$ 明显增大, 且在具有相同 Ni 层厚度的器件中 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}}$ 与 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni}}$ 近乎相同. 由此可判断在 YIG/Ni/Pt 三层器

件中 Pt 层对逆自旋霍尔电流 $I_{\text{ISHE}}^{\text{Ni/Pt}}$ 的贡献近乎为零, 即自旋流被 Ni/Pt 界面阻塞无法穿过, Pt 层在 YIG/Ni/Pt 三层器件的自旋泵浦测量中仅起到分流的作用.

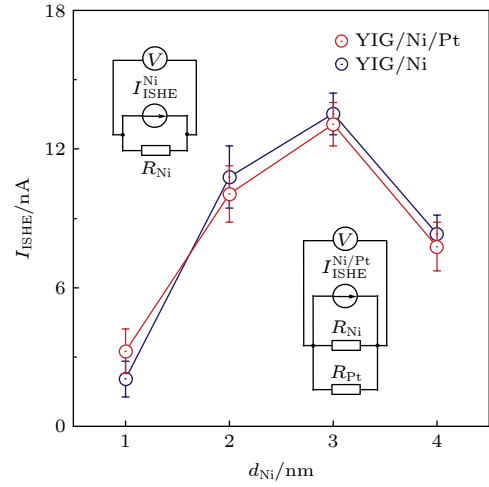


图 4 YIG/Ni/Pt 三层及 YIG/Ni 双层器件中逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 与 Ni 层厚度 d_{Ni} 的依存关系图 (插图是两种器件中逆自旋霍尔效应测量的等效电路图)

Fig. 4. The nickel layer thicknesses d_{Ni} dependences of the inverse spin Hall current I_{ISHE} for the YIG/Ni/Pt trilayer devices and the YIG/Ni bilayer devices (the insets are the equivalent circuits for inverse spin Hall measurement for the two series of devices).

自旋流在 Ni/Pt 界面处的阻塞现象可能由两种机制导致: 其一为 Ni/Pt 为自旋的强反射界面, 扩散自旋流在 Ni/Pt 界面处被完全反射; 其二为 Ni/Pt 界面为强自旋吸收体, 扩散自旋流在 Ni/Pt 界面处被完全耗散吸收. YIG/Ni 双层器件中 Ni 与空气的界面可近似为纯反射界面, 其测得的逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 正比于正向的扩散自旋流与界面处反射自旋流的叠加结果. 随着 Ni 层厚度减小 (特别是小于 Ni 的自旋扩散长时), Ni/空气界面的自旋反射增强, 且与正向扩散自旋流的叠加效果更加明显. 如果 YIG/Ni/Pt 三层器件中 Ni/Pt 界面对自旋流传输以吸收机制为主导, 与 YIG/Ni 双层器件相比, Ni/Pt 界面对自旋流的吸收将减弱反射自旋流, 且 Ni 层中自旋流密度分布亦将被改变. 与此对应, YIG/Ni/Pt 三层器件中测得的逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 应显著增强. 然而, 本工作并没有发现 YIG/Ni/Pt 三层器件中的逆自旋霍尔电流 I_{ISHE} 与 YIG/Ni 双层器件相比存在明显的增强倾向性, 这不符合界面吸收机制主导的预期. 因此,

虽然现有的实验结果不能完全定量分离上述反射与吸收两种因素的影响,但笔者仍倾向于认为强自旋流反射是 Ni/Pt 界面处自旋传输的主导因素.

4 结 论

本工作构建了 YIG/Ni/Pt 三层器件,通过与 YIG/Ni 双层器件的对比分析,系统研究了铁磁金属镍与非磁重金属铂异质结界面的自旋流传输性质.基于自旋泵浦技术,测量了不同镍层厚度的 YIG/Ni/Pt 三层与 YIG/Ni 双层器件中的逆自旋霍尔电压.通过分析对比 YIG/Ni/Pt 三层与 YIG/Ni 双层器件的逆自旋霍尔电流,证明扩散自旋流在 Ni/Pt 异质界面被完全阻塞,其结果主要归结于自旋流在该界面被反射.本工作加深了对自旋流在界面的反射、损耗和透射行为的理解,自旋流阻塞界面也拓展了自旋电子器件的研发思路.

参考文献

- [1] Flatte M E 2007 *IEEE Trans. Electron Devices* **54** 907
- [2] Brataas A, Kent A D, Ohno H 2012 *Nat. Mater.* **11** 372
- [3] Wolf S A, Awschalom D D, Buhrman R A, Daughton J M, von Molnar S, Roukes M L, Chtchelkanova A Y, Treger D M 2001 *Science* **294** 1488
- [4] Matsuo M, Ieda J, Saitoh E, Maekawa S 2011 *Phys. Rev. Lett.* **106** 076601
- [5] Maekawa S, Adachi H, Uchida K-i, Ieda J i, Saitoh E 2013 *J. Phys. Soc. Jpn.* **82** 102002
- [6] Takahashi S, Maekawa S 2008 *Sci. Technol. Adv. Mater.* **9** 014105
- [7] Hirsch J E 1999 *Phys. Rev. Lett.* **83** 1834
- [8] Sinova J, Valenzuela S O, Wunderlich J, Back C H, Jungwirth T 2015 *Rev. Mod. Phys.* **87** 1213
- [9] Shen J, Feng Z, Xu P, Hou D, Gao Y, Jin X 2021 *Phys. Rev. Lett.* **126** 197201
- [10] Chen X, Shi S, Shi G, Fan X, Song C, Zhou X, Bai H, Liao L, Zhou Y, Zhang H, Li A, Chen Y, Han X, Jiang S, Zhu Z, Wu H, Wang X, Xue D, Yang H, Pan F 2021 *Nat. Mater.* **20** 800
- [11] Okamoto S 2016 *Phys. Rev. B* **93** 064421
- [12] Liu M, Sha R, Wang M, Peng Y, Zhang Z, Zou A, Xu Y, Guo F, Qiu Z 2021 *J. Phys. D Appl. Phys.* **54** 155001
- [13] Zhu L, Ralph D C, Buhrman R A 2019 *Phys. Rev. Lett.* **123** 057203
- [14] Ong T T, Nagaosa N 2018 *Phys. Rev. Lett.* **121** 066603
- [15] Wimmer T, Althammer M, Liensberger L, Vlietstra N, Geprags S, Weiler M, Gross R, Huebl H 2019 *Phys. Rev. Lett.* **123** 257201
- [16] Kroemer H 2001 *Rev. Mod. Phys.* **73** 783
- [17] Kurt H, Loloee R, Eid K, Pratt W P, Bass J 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 4787
- [18] Nguyen H Y T, Pratt W P, Bass J 2014 *J. Magn. Magn. Mater.* **361** 30
- [19] Rojas-Sanchez J C, Reyren N, Laczkowski P, Savero W, Attane J P, Deranlot C, Jamet M, George J M, Vila L, Jaffres H 2014 *Phys. Rev. Lett.* **112** 106602
- [20] Chen K, Zhang S 2015 *Phys. Rev. Lett.* **114** 126602
- [21] Hoffmann A 2007 *Phys. Status Solidi C* **4** 4236
- [22] Yang F, Chris Hammel P 2018 *J. Phys. D Appl. Phys.* **51** 253001
- [23] Ando K, Kajiwara Y, Takahashi S, Maekawa S, Takemoto K, Takatsu M, Saitoh E 2008 *Phys. Rev. B* **78** 014413
- [24] Ando K, Takahashi S, Ieda J, Kajiwara Y, Nakayama H, Yoshino T, Harii K, Fujikawa Y, Matsuo M, Maekawa S, Saitoh E 2011 *J. Appl. Phys.* **109** 103913
- [25] Saitoh E, Ueda M, Miyajima H, Tataru G 2006 *Appl. Phys. Lett.* **88** 182509
- [26] Qiu Z, Li J, Hou D, Arenholz E, N'Diaye A T, Tan A, Uchida K, Sato K, Okamoto S, Tserkovnyak Y, Qiu Z Q, Saitoh E 2016 *Nat. Commun.* **7** 12670
- [27] Sha R, Liu Q, Wang M, Liu M, Peng Y, Zhang Z, Zou A, Xu Y, Jiang X, Qiu Z 2021 *Phys. Rev. B* **103** 024432
- [28] Qiu Z, An T, Uchida K, Hou D, Shiomi Y, Fujikawa Y, Saitoh E 2013 *Appl. Phys. Lett.* **103** 182404
- [29] Du C, Wang H, Yang F, Hammel P C 2014 *Phys. Rev. B* **90** 140407
- [30] Nakayama H, Ando K, Harii K, Yoshino T, Takahashi R, Kajiwara Y, Uchida K, Fujikawa Y, Saitoh E 2012 *Phys. Rev. B* **85** 144408

Spin blocking effect at Ni/Pt heterojunction*

Du Meng-Yao Qiu Zhi-Yong[†]

(*Key Laboratory of Materials Modification by Laser, Ion and Electron Beams, Ministry of Education, School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116000, China*)

(Received 1 December 2022; revised manuscript received 12 December 2022)

Abstract

Spin current, the flow of spin angular momentum, can carry and transport energy and/or information without generating Joule heating, which makes spin-based devices become one of the potential aspects for the next-generation information processing devices. It is important to investigate the generation, transport, and detection of spins for developing spin-based devices, in which the spin transport and its related phenomena attract ongoing interest due to the complex interactions between spins and condensed matter system. Here, spin transport phenomenon is studied at a heterojunction consisting of ferromagnetic metal nickel and nonmagnetic heavy metal platinum, where transport spins are found to be totally blocked. Two series of spin-pumping devices, i.e. the yttrium iron garnet (YIG)/Ni/Pt trilayer devices and the contrastive YIG/Ni bilayer devices, are made in this work. The YIG serves as a substrate and spin-pump layer, on which nickel film and platinum film are deposited by a dc magnetron sputtering system. Spin currents are generated from YIG and injected into nickel layers by spin pumping technology. The voltage signals corresponding to the inverse spin Hall effect are detected and analyzed comparatively for both YIG/Ni/Pt trilayer device and YIG/Ni bilayer device. It is found that the platinum layers in YIG/Ni/Pt trilayer devices act only as charge current shunting but do not contribute to the spin-charge conversion. This implies that the spin current cannot transport through the Ni/Pt interface even when the nickel layer is as thin as 1 nm, in other words, the spin current is blocked at the Ni/Pt interface. Our result proposes a heterojunction that can block transport spins totally, which has never been discussed before, and the present study may expand the views and promote the development of spin-based devices.

Keywords: spin current, heterojunction interface, spin blocking, spin pumping

PACS: 75.70.Cn, 81.15.Cd, 75.76.+j

DOI: 10.7498/aps.72.20222288

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11874098, 52171173).

[†] Corresponding author. E-mail: qiuzy@dlut.edu.cn



Ni/Pt异质界面的自旋阻塞效应

杜梦瑶 邱志勇

Spin blocking effect at Ni/Pt heterojunction

Du Meng-Yao Qiu Zhi-Yong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 72, 057501 (2023) DOI: 10.7498/aps.72.20222288

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.72.20222288>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

铁磁异质结构中的超快自旋流调制实现相干太赫兹辐射

Coherent terahertz radiation via ultrafast manipulation of spin currents in ferromagnetic heterostructures

物理学报. 2018, 67(19): 197202 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20181178>

飞秒激光泵浦LaAlO₃/SrTiO₃异质结产生太赫兹波辐射

Terahertz emission from LaAlO₃/SrTiO₃ heterostructures pumped with femtosecond laser

物理学报. 2022, 71(9): 090702 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20201139>

自旋太赫兹源：性能、调控及其应用

Spintronic terahertz emitter: Performance, manipulation, and applications

物理学报. 2020, 69(20): 208705 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200757>

Y₃Fe₅O₁₂(YIG)/Pt异质结构中基于超快自旋塞贝克效应产生太赫兹相干辐射研究

Terahertz emission from Y₃Fe₅O₁₂(YIG)/Pt heterostructures via ultrafast spin Seebeck effect

物理学报. 2020, 69(20): 208704 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200733>

弯曲时空中转动对自旋流的影响

Rotation effect on spin current in curved space-time

物理学报. 2019, 68(12): 120401 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182260>

具有连续反量子点的石墨烯纳米带中纯自旋流的实现

Generation of pure spin current in graphene nanoribbons with continuous antidots

物理学报. 2021, 70(19): 198503 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210242>