

一级学科： 物理学
学科方向： 凝聚态物理

北京理工大学
青年教师学术启动计划

项目执行报告

项目名称：	Mn ₂ Au 反铁磁自旋电子器件制备及物性研究
项目负责人：	吴汉春
所在学院：	物理学院
项目学科类别：	理科
联系电话：	18600362730
填报日期：	2017年10月24日

北京理工大学人事处制

二〇一三年十一月

二. 项目进展情况

1、项目的具体研究进度

2014-2015 年度，优化 Mn_2Au 薄膜生长条件，实现了 Mn_2Au 单晶薄膜和 Mn_2Au /铁磁异质结的外延生长。

2015-2016 年度，在上一年度的基础上，研究了 Mn_2Au 单晶薄膜和 Mn_2Au /铁磁异质结的自旋传输特性，揭示了自旋轨道耦合效应对该体系的自旋操控，在室温下实现对自旋的操控。并撰写了相关论文，部分实验结果发表在 *Advanced Functional Materials* 上。我们还研究了拓扑缺陷对二维材料传输特性的影响。相关结果发表在 *ACS Nano* 9, 7207 (2015) 和 *ACS Nano* 9, 8967 (2015) 上。

2016-2017 年度，在上一年度基础上，研究了 Mn_2Au /铁磁异质结的自旋霍尔效应，目前正在整理数据，开始撰写论文。同时受邀在自旋电子学专业期刊 *SPIN* 上撰写了一篇关于反铁磁自旋电子学的综述。同时，在上一年度拓扑缺陷对二维材料传输特性的基础上研究了局域态对石墨烯自旋运输的影响，相关结果发表在 *Nature Communications* 8, 14453 (2017) 上。

2、阶段性成果

自 2014 年 6 月加入北理工以来，在学术启动基金和学院领导与同事的支持下，筹建了纳米磁学与自旋调控实验室。共发表 SCI 论文 24 篇，其中第一作者/通讯作者发表 18 篇，主要包括 *Nature Communications* 1 篇，*ACS Nano* 2 篇，*Advanced Functional Materials* 1 篇，*Nano Energy* 1 篇，*Nanoscale* 3 篇，*Carbon* 1 篇，*APL* 1 篇，*Scientific Reports* 3 篇等。合作发表 *Nano Letters* 2 篇，*ACS Nano* 2 篇，*PRB* 2 篇。因在自旋电子学领域所做的贡献，受邀撰写综述一篇。并在中国物理学会秋季年会磁学分会做邀请报告一次。研究成果简介如下：

1. Mn_2Au 反铁磁自旋电子器件制备和物性研究

在过去的二十余年里，自旋电子学器件已连续十余年每年创造出数百亿美元的经济效益。但是随着集成器件尺寸的逐渐减小，散热和杂散场将成会制约器件灵敏度的主要障碍。寻找新的信息载体和调控技术至关重要。近期，通过对 Mn_2Au 薄膜生长条件的优化和自旋相关电子运输的研究，揭示了自旋轨道耦合效应对该体系的自旋操控，在室温下通过 200 mT 的磁场就能实现对自旋的反转，为实现室温反铁磁电子学奠定了实验基础，具有广阔的应用前景，研究结果发表在 *Advanced Functional Materials* 26, 5884 (2016) 上。并受邀在自旋电子学专业期刊 *SPIN* 上撰写综述介绍反铁磁自旋电子学近期进展。

2. 拓扑缺陷对石墨烯运输的影响

石墨烯被称为“黑金”，是“新材料之王”，科学家甚至预言石墨烯将“彻底改变 21 世纪”。极有可能掀起一场席卷全球的颠覆性新技术新产业革命。石墨烯目前最有潜力的应用是成为硅的替代品，制造超微型晶体管，用来生产未来的超级计算机。用石墨烯取代硅，计算机处理器的运行速度将会快数百倍。但是**石墨烯没有能隙，如何在石墨烯中打开一个能隙是该领域的最关键的问题**。我们首次采用自排列的线缺陷阵列在石墨烯中打开了一个 0.4 eV 的输运能隙，实现了 10^4 的开关比，解决了这一石墨烯应用中的关键问题，为石墨烯在超微型晶体管应用提供了新的途径。该工作发表在纳米领域顶级刊物 ACS Nano 9 8967 (2015) 上。同时，石墨烯可以有效传导电子自旋，有可能成为电子自旋电子学领域内最充满希望的材料。但是**石墨烯自身没有磁性，如何有效地引入自旋是该领域最主要的问题**。我们通过理论和实验相结合研究了线缺陷对石墨烯自旋运输的影响，发现 5-7-7 线缺陷能够产生自旋过滤效应并导致一个 5% 的面内正磁阻，从而提供了一种在石墨烯体系中引入自旋自由度的新途径。该工作的部分结果发表在 Nature Communications 8, 14453 (2017) 上。

3、经费使用情况

经费预算 10 万，到账 10 万。使用情况如下：

1. 设备费，用于购置设备，共 8.5 万。
 - a. 管式炉： 4.2 万
 - b. 滑动管式炉： 4.3 万
2. 专用材料费，用于购买靶材、水晶头、高纯铁等，共 0.69 万。
3. 文献检索查新复印费。共 0.15 万。
4. 学生劳务费。共 0.7 万。

4、遇到的问题

虽然在反铁磁自旋电子学和拓扑缺陷态研究方面取得了一定进展，达到了目标预期，但是受限于实验室刚成立，研究手段欠缺，部分实验只能在外院和外校进行测试，从而对自旋和缺陷态的调控机制仍没有搞清楚。随着实验室条件的逐步完善，后期我们将在相关问题进行深入的研究。

三. 目前正在承担的主要科研任务

项目编号	项目名称	经费(万元)	起止年月	负责或参加	项目来源
1	二维量子体系中拓扑缺陷的形成、调控及其在自旋电子学中的应用(2017CX01006)	200	2017.01-2019.12	负责	校“杰青”培育
2	具有拓扑特性的空间光场产生、调控及与微结构相互作用(2017YFA0303800)	120	2017.07-2022.06	参加	国家重点研发

四. 重要论著及被引用情况

论文、专著名称	年份	学术期刊或出版社名称	收录情况	卷(期)	页	作(著)者名次	引用次数
Large Positive In-Plane Magnetoresistance Induced by Localized States at Nanodomain Boundaries in Graphene	2017	Nature Communications	SCI(影响因子: 12.124)	8	14453	一作和通讯作者	3
Anomalous anisotropic magnetoresistance of antiferromagnetic epitaxial bimetallic films: Mn ₂ Au and Mn ₂ Au/Fe bilayers	2016	Advanced Functional Materials	SCI(影响因子: 12.124)	26	5884	一作和通讯作者	2
Transport Gap Opening and High On-Off Current Ratio in Trilayer Graphene with Self-Aligned Nanodomain Boundaries	2015	ACS Nano	SCI(影响因子: 13.942)	9	8967	一作和通讯作者	5

Enhanced Shubnikov-De Haas Oscillation in Nitrogen-Doped Graphene	2015	ACS Nano	SCI (影响因子: 13.942)	9	7207	一作和通讯作者	9
Simultaneous large continuous band gap tunability and photoluminescence enhancement in GaSe nanosheets via elastic strain engineering	2017	Nano Energy	SCI (影响因子: 12.343)	32	157	通讯作者	1
Ultra-Sensitive Graphene Based Mid-Infrared Plasmonic Bio-Chemical Sensing using Dielectric beads as a Medium	2017	Carbon	SCI (影响因子: 6.337)	122	404	通讯作者	0
Electrical-field-driven metal-insulator transition tuned with self-aligned atomic defects	2015	Nanoscale	SCI (影响因子: 7.367)	7	14055	通讯作者	3
Zeeman Effect on Surface Electron Transport in Topological Insulator Bi ₂ Se ₃ Nanoribbons	2015	Nanoscale	SCI (影响因子: 7.367)	7	16687	通讯作者	6
Magnetic moments in graphene with vacancies	2014	Nanoscale	SCI (影响因子: 7.367)	6	8814	共同一作	17
Magnetic and transport properties of stepped Fe ₃ O ₄	2014	Applied Physics Letters	SCI (影响因子: 3.411)	105	132408	一作和通讯作者	5
Magnetic and transport properties of epitaxial MgFe ₂ O ₄ thin film grown on MgO (100) by molecular	2014	Scientific Reports	SCI (影响因子: 4.259)	4	7021	一作和通讯作者	6

beam epitaxy							
Spin-dependent transport properties of Fe ₃ O ₄ /MoS ₂ /Fe ₃ O ₄ junctions	2015	Scientific Reports	SCI (影响因子: 4.259)	5	15984	一作和通讯作者	7
Surface enhanced Raman scattering of monolayer MX ₂ with metallic nano particles	2016	Scientific Reports	SCI (影响因子: 4.259)	6	30320	通讯作者	3
Probing Thermal Expansion Coefficients of Monolayers Using Surface Enhanced Raman Scattering	2016	RCS Advances	SCI (影响因子: 3.108)	6	99053	通讯作者	2
Competition between anti-phase boundaries and charge-orbital ordering in epitaxial stepped Fe ₃ O ₄ (100) thin films	2017	SPIN	SCI	7	17500 1	通讯作者	0
Materials, devices and spin transfer torque in Antiferromagnetic Spintronics: a Concise Review	2017	SPIN	SCI	7	17400 14	通讯作者	0
Quantum Confinement and Gas Sensing of Mechanically Exfoliated GaSe	2017	Advanced Materials Technologies	SCI	2	16001 97	通讯作者	2
Influence of anisotropic strain relaxation on the magnetoresistance properties of epitaxial Fe ₃ O ₄ (011) films	2015	Journal of Applied Physics	SCI (影响因子: 2.068)	118	17390 3	通讯作者	0
Topological	2014	Nano Letters	SCI (影	14	4389	第 10 作	24

Surface States Enhanced Photothermoelectric Effect in Bi ₂ Se ₃ Nanoribbons			响因子: 12.712)			者	
Nanopatterning and Electrical Tuning of MoS ₂ Layers with a Sub-Nanometre Helium Ion Beam	2015	Nano Letters	SCI (影响因子: 12.712)	15	5307	第 13 作者	24
Gate-Tunable Tunneling Resistance in Graphene/Topological Insulator Vertical Junctions	2016	ACS Nano	SCI (影响因子: 13.942)	10	3816	第 3 作者	11
Electronic Coupling between Graphene and Topological Insulator Induced Anomalous Magnetotransport Properties	2017	ACS Nano	SCI (影响因子: 13.942)	11	6277	第 4 作者	1
Magnetic proximity effect in graphene coupled to a BiFeO ₃ nanoplate	2017	Physical Review B	SCI (影响因子: 3.836)	95	195426	第 7 作者	1
Spin-polarized surface state transport in a topological Kondo insulator SmB ₆ nanowire	2017	Physical Review B	SCI (影响因子: 3.836)	98	235410	第 8 作者	4

“收录情况”请注明被 SCI、EI、核心期刊收录情况，如被 SCI 收录，请注明影响因子。

五. 授权发明专利

专利名称	授权专利号	年份	授权国家或地区	本人名次	经济效益(万元)

六. 获奖目录

获奖项目名称	奖励类别(等级)	授予单位	获奖时间	本人排名