

矫顽力可调的多孔硅基 Fe 膜^{*}

邱学军¹⁾ 张云鹏²⁾ 何正红¹⁾ 白浪¹⁾
刘国磊²⁾ 王跃¹⁾ 陈鹏¹⁾ 熊祖洪^{1)†}

1) 西南大学物理学院, 重庆 400715)

2) 山东大学物理与微电子学院, 济南 250100)

(2006 年 4 月 11 日收到, 2006 年 5 月 14 日收到修改稿)

采用电化学腐蚀法制备了不同多孔度的多孔硅(PS), 再通过磁控溅射法在该 PS 衬底上沉积了一定厚度的 Fe 膜, 并对样品进行了 X 射线衍射的结构分析、扫描隧道显微技术的表面形貌观察和磁光克尔效应的测量. 发现在同一 Fe 膜厚度下, 相对于参考样品硅上的 Fe 膜, 多孔硅上 Fe 膜的矫顽力更大; 同时观察到多孔硅基 Fe 膜随着 PS 多孔度的增加, 矫顽力相应变大, 而对于多孔度相同的多孔硅基样品, 随着 Fe 膜厚度的增加, 矫顽力却逐步减小. 得出了多孔硅特有的海绵状疏松结构能有效调节 Fe 膜矫顽力大小的结论.

关键词: 多孔硅, 海绵状结构, Fe 薄膜, 矫顽力

PACC: 7360D, 7550S, 7850G

1. 引言

磁电子学是继微电子学和光电子学之后, 在物理、材料和电子工程等学科中最近兴起的一个热点研究领域, 特别在近十年以来有非常快速的发展^[1, 2]. 作为磁电子学器件的重要组成部分, 低维铁磁性材料在磁记录、高密度磁存储和磁传感等方面有广泛的应用, 在材料科学领域已经引起了越来越多的关注^[3-8]. 由单层磁性薄膜和磁性薄膜/非磁性薄膜交替组成的多层膜表现出了优异和独特的磁性, 如各向异性磁电阻(AMR)、隧穿磁电阻(TMR)和巨磁电阻(GMR)以及庞磁电阻(CMR)^[9-17]. 矫顽力作为磁性材料的重要参量之一, 它对磁性薄膜的应用有重要的影响, 超高面密度的磁记录要求记录介质要有适当高的矫顽力. 因此, 通过实验手段在一定范围内调节磁性薄膜矫顽力的大小^[18-21]就具有较高的科学价值和潜在的应用前景.

最近 Sun 等人在类面条状多孔硅(PS)衬底上溅射沉积了 Co 膜, 在平行和垂直于类面条状槽方向上得到了 Co 膜矫顽力大小不同的实验结果^[21]. 自

从 1990 年 Canham 报道了多孔硅在室温下能较高效率地发射可见光以来^[22], PS 在硅基光电子材料与器件方面的应用取得了令人鼓舞的进展^[23-25]; 同时, 多孔硅因其高的孔密度和大的比表面积, 被认为是一种具有特殊用途的载体, 最近的重要研究工作有 Victor 等人在 PS 上制成能够鉴别不同生物分子的传感器^[26]; Fan 等人报道了在 PS 衬底上制成高度有序的碳纳米管并研究了它们的场发射属性^[27]; Jing 等人在 PS 上制成脱附离子质谱分析仪^[28]; Li 等人在多孔硅衬底上获得了一种多孔硅的聚合物复制品, 该复制品可用于传感和生物药物的输送^[29]. 另外, 熊等人在 PS 分布 Bragg 反射镜上制备硅基微腔的有机发光二极管^[30]; 文献中还报道了在 PS 衬底上也能够制备 GaN^[31], ZnO^[32], 金刚石^[33], Ba_xSr_{1-x}TiO₃^[34], CoSi₂^[35]和 Cu^[36]等功能薄膜.

Sun 等人^[21]制备 PS 时, 采用一种比较特殊的金属辅助的化学腐蚀方法, 腐蚀液中不含氟化物; 对 PS 上 Co 膜的研究也只是停留在一种多孔度的多孔硅和相应参考硅片镀膜后矫顽力大小的比较. 本文则采用目前常用的阳极电化学腐蚀法来制备 PS, 经不同的腐蚀电流密度得到了多孔度不同的样品; 利

* 国家自然科学基金(批准号: 10504027), 教育部新世纪优秀人才支持计划(批准号: NCET-05-0772), 霍英东教育基金(批准号: 101006), 人事部留学人员科技活动项目择优资助课题和重庆市自然科学基金(批准号: CSTC 2005BB3049)资助的课题.

† 通讯联系人, E-mail: zhxiang@swu.edu.cn

用直流磁控溅射法分别在 PS 和参考硅片上沉积了一定厚度的 Fe 膜. 对具有相同多孔度的一组样品采用不同的 Fe 膜沉积时间, 得到了膜厚不同的样品; 对多孔度不同的样品采用相同的 Fe 膜沉积时间, 得到了同一膜厚的样品. 用 X 射线衍射仪(XRD)和扫描隧道显微镜(STM)分析了两种 Fe 膜样品的结构和表面形貌, 用磁光克尔效应(MOKE)研究了样品的磁性情况. 实验发现多孔度不同的多孔硅衬底能有效调节 Fe 膜矫顽力的大小.

2. 实 验

采用阳极电化学腐蚀法在单晶硅上以不同腐蚀电流密度制备了 PS 衬底^[37,38]. 所用的电解液是 HF (>40%):C₂H₅OH = 1:1 的溶液, 腐蚀电流密度采用了 1mA/cm² 和 30mA/cm² 两种, 腐蚀时间都为 2min. 实验中所用硅片是电阻率分别为 0.01Ω·cm(重掺)和 5—10Ω·cm(轻掺)的两种 p 型(100)单晶硅. 多孔硅衬底制备后, 用去离子水反复冲洗, 然后在氮气中干燥.

Fe 膜的制备是在 FJL560D3 型超高真空磁控与离子束复合溅射系统的磁控室中进行. 直流溅射电压为 0.28kV, 溅射功率约为 80W, 溅射气体是 99.99% 的高纯 Ar 气, 镀膜前腔体真空被抽到 7.0×10^{-5} Pa, 溅射工作气压为 3.0Pa. PS 和参考硅片置于同一样品托上在铁靶上方进行磁控溅射. 铁靶的纯度为 99.99%, 直径为 60mm, 溅射速率约为 25nm/min.

用 XRD(Rigaku, Cu K α)分析了多孔硅基 Fe 膜和硅基 Fe 膜(参考样品)的结构, 其中 XRD 工作电压为 40keV, 电流为 30mA; 样品的表面形貌是由上海卓伦微纳米设备有限公司研制的 STM(Pt 针尖)来观测的, 隧道电流为 -3nA, 隧道偏压为 -0.2mV; 用 MOKE 研究了 3 组样品的磁性情况, 实验中用到的激光器为 He-Ne 激光, 波长为 632.8nm.

3. 结果与讨论

3.1. XRD 分析

我们对重掺(0.01Ω·cm)硅片及相应 PS 样品进行了 XRD 分析. 图 1(a)中由下到上依次是单晶硅(C-Si), 多孔硅(PS, 30mA/cm²)和多孔硅基 Fe 膜(PS-Fe, 30mA/cm², 25nm)的 XRD 图谱, 研究了 2θ

在 31°—35°和 66°—72°范围内的情况. 由图 1(a)可知, 三个样品在此 2θ 角范围内结构基本相同, 在 33°和 69°附近都分别出现了 Si 的(200)和(400)衍射峰, 其他 2θ 角范围内没有峰出现, 故图中没有画出. 图 1(b)是图 1(a)在 2θ 为 68°—70°范围内的 XRD 谱放大图. 由图 1(b)可看出, 除了这三个样品的硅衬底本身在该范围内出现的(400)布拉格峰外, PS 和 PS-Fe 在(400)峰左侧 68.8°附近都出现了一个强度很弱的峰, 而 C-Si 在该 2θ 角附近没有出现此峰. 经分析

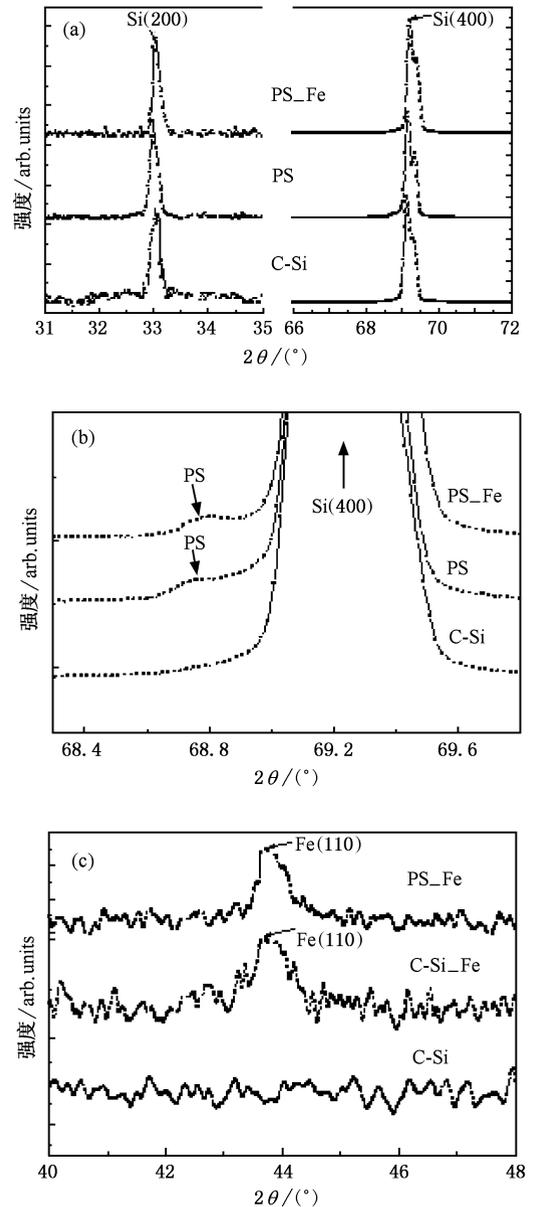


图 1 样品的 XRD 结果 (a)在 Si(200)和 Si(400)衍射峰附近 C-Si、PS 和 PS-Fe 样品的 XRD 谱; (b)在 Si(400)衍射峰附近 C-Si、PS 和 PS-Fe 样品的 XRD 谱; (c)在 Fe(110)衍射峰附近 C-Si、C-Si-Fe 和 PS-Fe 样品的 XRD 谱

这两个弱峰是 PS 的布拉格峰^[39,40]。

图 1(c)中由下到上依次是单晶硅(C-Si)、硅基 Fe 膜(Si-Fe)和多孔硅基 Fe 膜样品(PS-Fe)在 44.67° 附近的 XRD 谱,其中 PS 是在腐蚀电流密度为 $30\text{mA}/\text{cm}^2$ 下获得,Si-Fe 和 PS-Fe 样品的 Fe 膜厚度都为 125nm 。由图 1(c)可知,当 Fe 膜厚度为 125nm 时 Si-Fe 和 PS-Fe 在同一 2θ 角附近都出现了一个较弱的峰,此峰与 Fe 的布拉格反射中 $\text{bcc}(110)$ 很符合(查 XRD 元素卡可知),虽然峰的强度较弱,但是相比于无 Fe 膜的 C-Si 还是比较明显。

由图 1 可知,C-Si、PS 和 PS-Fe 在 33° 和 68.8° 附近都分别出现了 Si 的(200)和(400)峰;其中 PS 和 PS-Fe 在 Si(400)布拉格峰左侧 44.67° 附近都观察到了一个很弱的 PS 布拉格峰;当 Fe 膜厚度较薄时,PS-Fe 在整个 2θ 范围内观察不到 Fe 的特征峰,可能是 Fe 膜厚度相对较薄,XRD 捕捉不到它的信号,我们将在以后的实验(如采用铁靶的 XRD)中进一步研究;当 Fe 膜相对较厚时,Si-Fe 和 PS-Fe 样品在 44.67° 附近都能观察到较弱的 Fe 的(110)峰,而且在同一膜厚下硅基 Fe 膜和多孔硅基 Fe 膜的 XRD 衍射谱类似,几乎没什么结构差异,这说明多孔硅衬底

对 Fe 膜矫顽力的调节作用与 Fe 膜本身的结构没有关系。

3.2. STM 分析

图 2 是在同一测试条件下沉积在两类不同衬底上的 Fe 膜样品的 STM 表面形貌图。图 2(a)为硅基($0.01\Omega\cdot\text{cm}$)Fe 膜的表面形貌三维图,图 2(b)、(c)和(d)分别对应的多孔硅基 Fe 膜样品的制备条件为($0.01\Omega\cdot\text{cm}, 1\text{mA}/\text{cm}^2$)、($0.01\Omega\cdot\text{cm}, 30\text{mA}/\text{cm}^2$)和($5\text{—}10\Omega\cdot\text{cm}, 30\text{mA}/\text{cm}^2$)。图 2 中各样品的 Fe 膜厚度都是 25nm 。通过比较图 2(a)、(b)、(c)和(d)发现它们在尺寸为 $2.5\mu\text{m}\times 2.5\mu\text{m}$ 范围内薄膜微结构呈现不同,表面形貌相差较大。从图 2(a)可以看出,硅基 Fe 膜在 STM 下表面形貌比较平整,样品表面除了由一些灰尘颗粒引起的细小突起外基本上保持着硅片镀膜前平整光滑的原状;而图 2(b)、(c)和(d)中多孔硅基 Fe 膜的表面形貌较之图 2(a)比较粗糙,有很多类似于山峰的小突起。这是因为单晶硅经电化学腐蚀制成多孔硅后,在样品表面形成了大量垂直的小孔,当在样品上方垂直沉积 Fe 膜时,由于孔的存在,部分铁离子优先落入孔中,而另一部分铁离子直

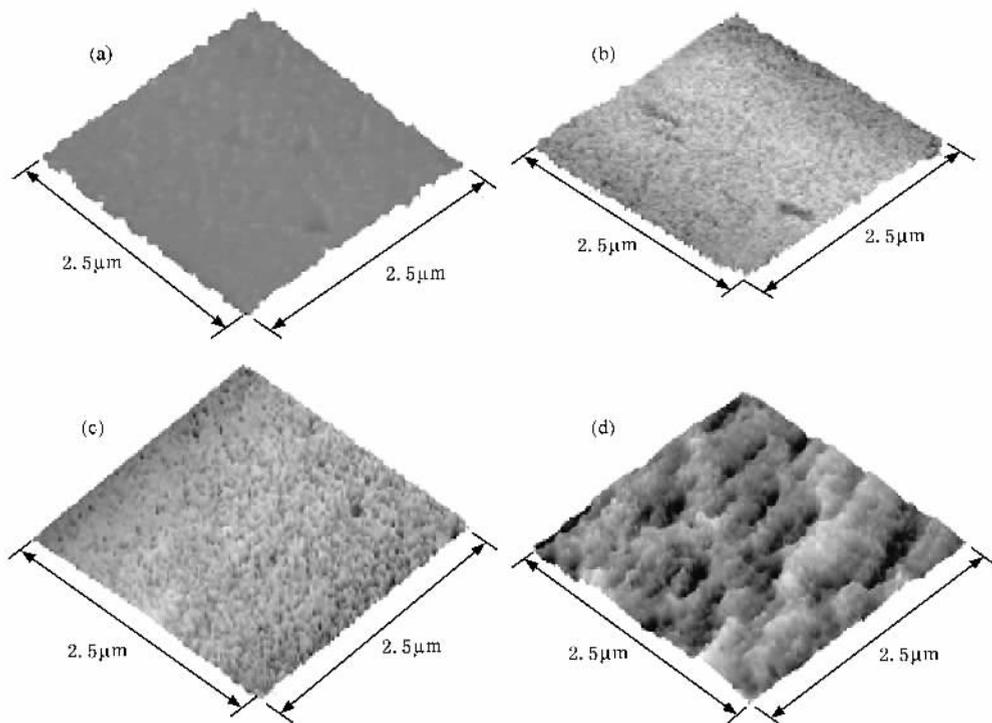


图 2 硅基 Fe 膜和多孔硅基 Fe 膜的 STM 图像 (a)为单晶硅($0.01\Omega\cdot\text{cm}$)上 25nm 厚的 Fe 膜形貌图;(b)和(c)是单晶硅($0.01\Omega\cdot\text{cm}$)分别在 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 和 $30\text{mA}/\text{cm}^2$ 腐蚀电流密度下形成的多孔硅上 25nm 厚的 Fe 膜形貌图;(d)为单晶硅($5\text{—}10\Omega\cdot\text{cm}$)在 $30\text{mA}/\text{cm}^2$ 腐蚀电流密度下形成的多孔硅上 25nm 厚的 Fe 膜形貌图

接沉积在硅表面未腐蚀区域.所以在相同镀膜时间里 PS 样品表面的 Fe 膜生长得很不均匀,在微观范围内相邻 Fe 膜起伏较大以致形成很多类似于山峰的小突起.

从图 2(b)(c)可以看出,由电阻率为 $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ (重掺)的单晶硅在不同腐蚀电流密度下生成的 PS,在 Fe 膜厚度为 25 nm 时表面形貌相差比较大,大电流密度制得的 PS,其上 Fe 膜(图 2(c))的表面形貌更粗糙.这是因为 PS 的多孔度和孔的深度与电流密度大小成正比.电流密度越大硅片腐蚀越激烈,样品表面的多孔度就越大、孔的深度越深,因而生成的 PS 表面更粗糙,沉积在其上的 Fe 膜表面就越不均匀,而图 2(c)和(d)中的 PS 衬底是由电阻率大小不同的单晶硅在同一腐蚀电流密度($30 \text{mA}/\text{cm}^2$)下制得的,在相同 Fe 膜厚度(25 nm)下,两多孔硅基 Fe 膜样品的表面形貌相差也很大,图 2(d)中 Fe 膜的表面较之图 2(c)出现了几个很明显的坑.这是因为 PS 的孔径取决于掺杂的类型和浓度,在掺杂类型相同的情况下(我们实验中所用硅片都是掺的硼)孔径的大小只与掺杂浓度有关.由重掺($0.01 \Omega \cdot \text{cm}$)的 p 型硅所制得的 PS 孔径的典型范围为 10—100 nm;轻掺($5—10 \Omega \cdot \text{cm}$)的 PS 中大孔的孔径为微米级且其表面往往以大孔为主(即孔径大部分是微米级)^[41].由以上可知掺杂浓度越低的 PS 样品孔径越大,表面更粗糙,因而沉积在其上的 Fe 膜表面起伏就越大(如图 2(d)).

3.3. MOKE 分析

由于从相结构分析硅基 Fe 膜和多孔硅基 Fe 膜,发现两者在同一膜厚下几乎没有什么结构差异,而从表面形貌分析这两种薄膜样品,发现它们在微观范围内有较大差异.我们认为衬底的表面形貌对 Fe 膜的沉积有不可忽视的影响,从而起到调节样品矫顽力大小的作用.为了进一步阐明衬底的调节效果,现对以下三组样品分别进行了 MOKE 测试分析(图 3,图 4,图 5).

图 3 是($5—10 \Omega \cdot \text{cm}$)多孔硅基 Fe 膜的和相应硅基 Fe 膜(参考样品)的磁滞回线情况.图 3(a)和(b)所对应样品的衬底是多孔度不同的多孔硅,由电阻率为 $5—10 \Omega \cdot \text{cm}$ 的单晶硅分别在电流密度为 $30 \text{mA}/\text{cm}^2$ 和 $1 \text{mA}/\text{cm}^2$ 的腐蚀条件下生成,腐蚀时间和相应 Fe 膜厚度都分别为 2 min 和 50 nm.对比图 3(a)和(b)可知,在同一膜厚下,Fe 膜矫顽力随着腐蚀电流

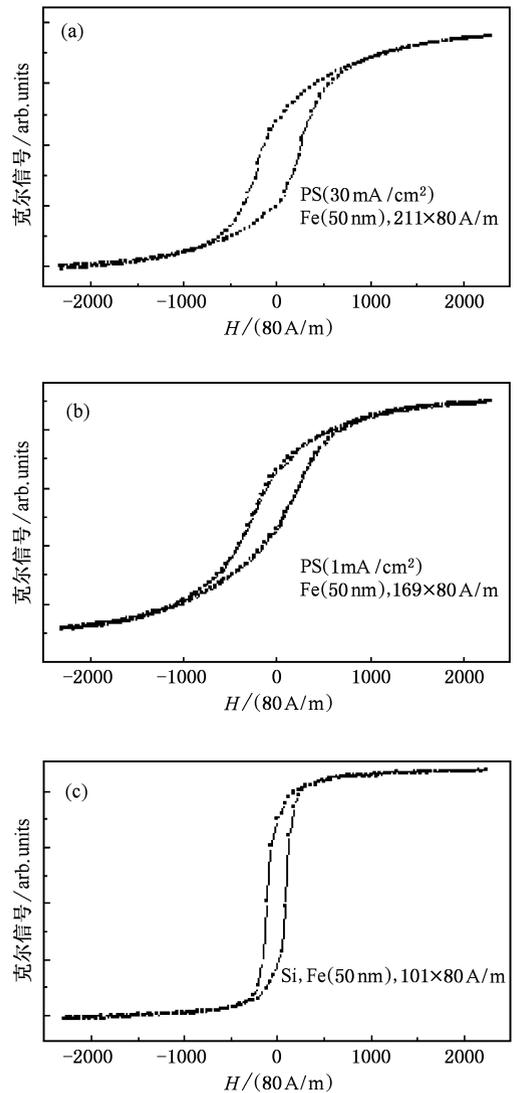


图 3 50 nm 厚的 Fe 膜在单晶硅和 PS 衬底上的 MOKE 图 (a)单晶 Si($5—10 \Omega \cdot \text{cm}$) 在 $30 \text{mA}/\text{cm}^2$ 和 2 min 的腐蚀条件下得到的 PS; (b)单晶 Si($5—10 \Omega \cdot \text{cm}$) 在 $1 \text{mA}/\text{cm}^2$ 和 2 min 的腐蚀条件下得到的 PS; (c)单晶 Si($5—10 \Omega \cdot \text{cm}$)

密度大小的升高而逐渐增大,前后增大了 $42 \times 80 \text{A}/\text{m}$.这是因为 PS 的多孔度 P 与腐蚀电流密度大小 J 成正比,随着电流密度的升高,硅片表面的多孔度逐渐增大,同时 PS 表面越来越疏松,使得沉积在其上的 Fe 膜更加粗糙,PS 对 Fe 膜矫顽力的调节作用更显著,因而图 3(a)中 Fe 膜矫顽力更大.而图 3(c)是轻掺单晶硅片(参考样品)在同一溅射条件下的磁滞回线图,对于参考样品,我们研究了其上 Fe 膜厚度为 50 nm 和 125 nm 时的磁滞回线情况,测得两种样品的矫顽力大小都约为 $101 \times 80 \text{A}/\text{m}$.在图 3 中我们采用了 50 nm 厚的硅基 Fe 膜的磁滞回线作为图 3(c).由图 3 可知,在同一溅射厚度(50 nm)下,单

晶硅基 Fe 膜的矫顽力最小,而多孔硅基 Fe 膜的矫顽力则随着阳极腐蚀电流密度的增大而增大。

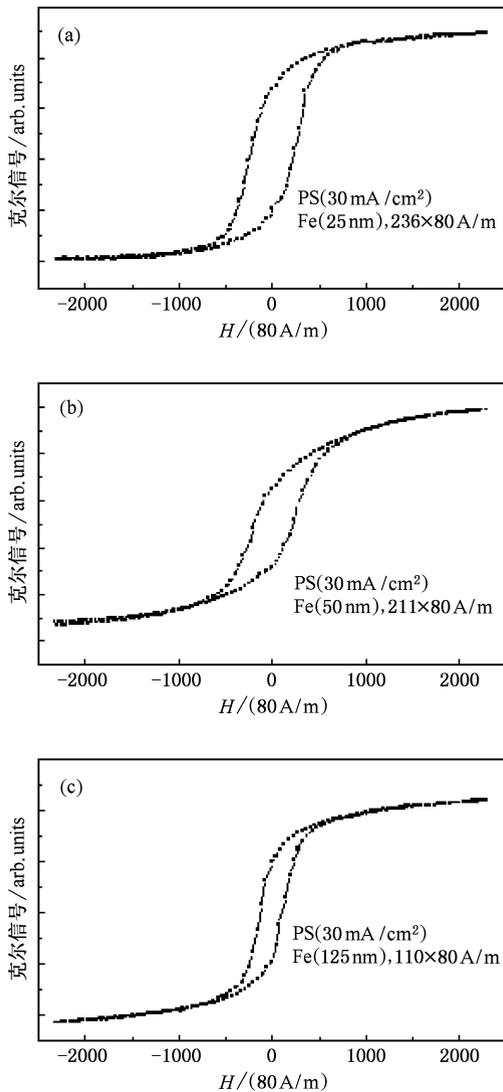


图4 不同厚度的 Fe 膜在 PS 衬底上的 MOKE 图(其中 PS 由单晶 Si(5—10Ω·cm)在 30mA/cm² 和 2min 的腐蚀条件下得到)。(a) Fe 膜厚度为 25nm ;(b) Fe 膜厚度为 50nm ;(c) Fe 膜厚度为 125nm

图4是(5—10Ω·cm)多孔硅基 Fe 膜样品在不同膜厚下的磁滞回线情况。图4(a)(b)和(c)所对应样品的衬底都是由电阻率为 5—10Ω·cm 的硅片制得的 PS。电流密度和腐蚀时间都分别为 30mA/cm² 和 2min,得到的是多孔度相同的 PS。对应于图4(a),(b)和(c),溅射时间分别为 1min、2min 和 5min,相应厚度分别为 25nm、50nm 和 125nm。由 MOKE 分析可知,对于图4(a),测得其 Fe 膜矫顽力为 236 × 80A/m,图4(b)和(c)中曲线所对应的矫顽力大小分别为 211 × 80A/m 和 110 × 80A/m。从图4可以看出,对于

相同的 PS 衬底,随着溅射时间的延长(即 Fe 膜厚度的增加),矫顽力逐渐减小,溅射时间由 1min 增加到 5min,矫顽力则由 236 × 80A/m 减小到 110 × 80A/m。同时我们发现,在 Fe 膜厚度相同、掺杂浓度一样的情况下,图4(c)中多孔硅基 Fe 膜样品的矫顽力跟图3(c)中参考样品硅基 Fe 膜的矫顽力大小(125nm, 101 × 80A/m)很接近。这说明 Fe 膜越厚,多孔硅与 Fe 膜的界面效应越不显著,PS 衬底对 Fe 膜矫顽力大小影响越小。这是因为随着 Fe 膜不断沉积于 PS 样品上,PS 表面的小孔由下到上逐渐被铁离子填满,沉积 Fe 膜越厚,孔被 Fe 膜覆盖得越彻底。所以

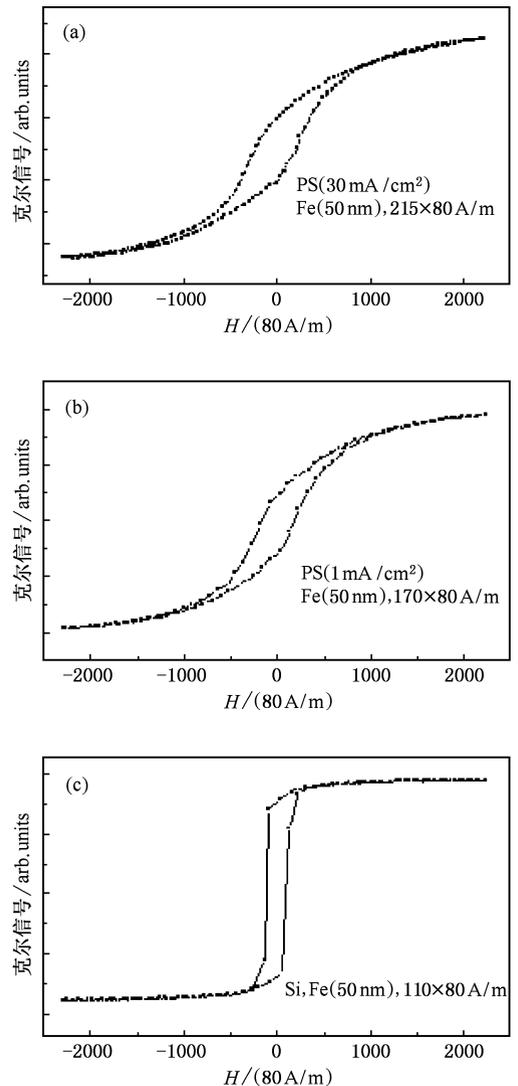


图5 50nm 厚的 Fe 膜在单晶硅和 PS 衬底上的 MOKE 图 (a)单晶 Si(0.01Ω·cm)在 30mA/cm² 和 2min 的腐蚀条件下得到的 PS ;(b)单晶 Si(0.01Ω·cm)在 1mA/cm² 和 2min 的腐蚀条件下得到的 PS ;(c)单晶硅(0.01Ω·cm)

当膜厚增加到一定大小,小孔被完全填满,使得样品

表面很平整, PS 衬底几乎不起任何调节作用, 此时多孔硅基 Fe 膜的磁滞回线类似于硅基 Fe 膜(图 3(c))的情况.

图 5 中我们研究了(0.01Ω·cm)多孔硅基 Fe 膜和相应硅基 Fe 膜在同一溅射厚度下的磁滞回线情况. 图 5(a)和(b)的衬底是电阻率为 0.01Ω·cm 的单晶硅分别在 30mA/cm² 和 1mA/cm² 的阳极腐蚀电流密度下所生成的 PS, 腐蚀时间和相应 Fe 膜厚度都分别为 2min 和 50nm. 对比图 5(a)和(b)发现: 随着腐蚀电流密度的减小, 多孔硅基 Fe 膜的矫顽力也有减小的趋势, 从 215 × 80A/m 减小到 170 × 80A/m. 而对于相应参考样品——重掺单晶硅的磁滞回线图 5(c), 在同一 Fe 膜厚度下矫顽力只有 110 × 80A/m, 低于相同膜厚下(0.01Ω·cm)多孔硅基 Fe 膜的矫顽力. 由图 5 可知, 跟(5—10Ω·cm)多孔硅基 Fe 膜机理一样, (0.01Ω·cm)多孔硅衬底海绵状疏松结构对沉积在其上的 Fe 膜矫顽力大小影响很大, PS 在这里起到了一个调节磁性薄膜矫顽力大小的作用, 在一定膜厚范围内增大了 Fe 膜的矫顽力值.

如同在 PS 层上制备其他功能薄膜一样^[31—36], 多孔硅孔洞内外的薄膜均匀性是一个很值得仔细研

究的课题, 但采用 MOKE 测量却不易分辨出孔洞内外 Fe 薄膜的磁均匀性差异, 这是由于 MOKE 中所用的 He-Ne 激光束斑即使采用透镜聚焦后相对于孔的大小而言仍然较大, 采用其他一些实验手段(如磁力显微镜)来研究这个问题的实验工作也在设计之中.

4. 结 论

实验表明磁性 Fe 膜的矫顽力大小与 PS 衬底的表面形貌有较大关系. 由单晶硅腐蚀而成的 PS 衬底在一定范围内能调节磁性 Fe 膜矫顽力的大小. 相比于参考硅片, PS 由于其海绵状疏松结构和表面的多孔性, 在同一膜厚下, 多孔硅基 Fe 膜的矫顽力要大于硅基 Fe 膜的矫顽力; 对于同种硅片, 阳极腐蚀电流密度越大对应的多孔硅基 Fe 膜的矫顽力值也相应越大; 相同的 PS 衬底, 一定膜厚范围内镀膜时间越长则矫顽力越小. 由于 PS 特殊的结构和对矫顽力的调节作用, PS 基磁性材料在磁电子研究方面存有潜在的应用价值, 将来有望成为一种更加实用的功能性薄膜材料.

- [1] Wolf S A *et al* 2001 *Science* **294** 1488
- [2] Oestreich M *et al* 2002 *Semicond. Sci. Technol.* **17** 285
- [3] Cowburn R P 2000 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **33** R1
- [4] Velez M *et al* 2000 *J. Appl. Phys.* **87** 5654
- [5] Gomez R D *et al* 1996 *J. Appl. Phys.* **80** 342
- [6] Taniyama T *et al* 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 2780
- [7] Li S P *et al* 2002 *Nature* **415** 600
- [8] Swerts J *et al* 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 1239
- [9] Jiang H W *et al* 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2338 (in Chinese) [姜宏伟等 2005 物理学报 **54** 2338]
- [10] Wang T X *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 3895 (in Chinese) [王天兴等 2005 物理学报 **53** 3895]
- [11] Du Y W *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1191 (in Chinese) [都有为等 2004 物理学报 **53** 1191]
- [12] Zhong Z Y *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1520 (in Chinese) [钟志勇等 2004 物理学报 **53** 1520]
- [13] Duan P *et al* 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2061 (in Chinese) [段莘等 2003 物理学报 **52** 2061]
- [14] Wang M *et al* 2006 *Chinese Phys.* **15** 850
- [15] Li F F *et al* 2005 *Chinese Phys.* **14** 1025
- [16] Wei H X *et al* 2004 *Chinese Phys.* **13** 1553
- [17] He L H *et al* 2004 *Chinese Phys.* **13** 1962
- [18] Ueda S *et al* 2004 *Thin Solid Films* **464-465** 57
- [19] Li N *et al* 1999 *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **205** 1
- [20] Devolder T *et al* 2001 *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **175-177** 375
- [21] Sun Z G *et al* 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 181904
- [22] Canham L T 1990 *Appl Phys Lett.* **57** 1046
- [23] Hirschman K D *et al* 1996 *Nature* **384** 338
- [24] Lv M *et al* 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 2083 (in Chinese) [吕明等 2000 物理学报 **49** 2083]
- [25] Xu D Y *et al* 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2694 (in Chinese) [徐大印等 2004 物理学报 **53** 2694]
- [26] Victor S Y L *et al* 1997 *Science* **278** 840
- [27] Fan S S *et al* 1999 *Science* **283** 512
- [28] Jing W 1999 *Nature* **399** 6733
- [29] Li Y Y *et al* 2003 *Science* **299** 2045
- [30] Xiong Z H *et al* 2005 *Science in China E* **35** 278 (in Chinese) [熊祖洪等 2005 中国科学 E 辑 **35** 278]
- [31] Missaoui A *et al* 2002 *Materials Science and Engineering B* **93** 102
- [32] Chen S Q *et al* 2005 *Applied Surface Science* **241** 384
- [33] Suman B I *et al* 1997 *Thin Solid Films* **305** 259
- [34] Liu W L *et al* 2004 *Materials Science in Semiconductor Processing* **7** 253
- [35] Ramos A R *et al* 2001 *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* **178** 283

- [36] Ghosh S *et al* 2002 *Materials Science and Engineering B* **96** 53
- [37] Frohnhoff S *et al* 1995 *Thin Solid Films* **255** 59
- [38] Berger M G *et al* 1994 *J. Phys. D : Appl. Phys.* **27** 1333
- [39] Lee K W *et al* 2005 *Thin Solid Films* **478** 183
- [40] Buttard D *et al* 1998 *J. Appl. Phys.* **83** 5814
- [41] Zhang X G 2004 *Electrochemistry of Silicon and Its Oxide* (Beijing : Chemical Industry Press) p324 (in Chinese) 章小鸽 2004 硅及其氧化物的电化学(北京 : 化学工业出版社) p324]

Control of coercivity of iron films deposited on porous silicon substrates^{*}

Qiu Xue-Jun¹⁾ Zhang Yun-Peng²⁾ He Zheng-Hong¹⁾ Bai Lang¹⁾

Liu Guo-Lei²⁾ Wang Yue¹⁾ Chen Peng¹⁾ Xiong Zu-Hong^{1)†}

1) (School of Physics , Southwest University , Chongqing 400715 , China)

2) (School of Physics and Microelectronics , Shandong University , Jinan 250100 , China)

(Received 11 April 2006 ; revised manuscript received 14 May 2006)

Abstract

Porous silicon (PS) with different porosity was obtained by anode electrochemical etching of boron-doped Si (100) ; the as-etched samples were then covered with Fe films by magnetron sputter technique. Analysis of surface profile and structural investigation were done by scanning tunneling microscopy and X-ray diffraction. Magneto-optical Kerr effect was employed to measure the hysteresis loops of the iron films sputtered onto PS and the reference sample on the Si substrate. The coercivity of the PS-based Fe films is larger than that of the Si-based ones , and increases with the porosity of the PS substrate. As for the PS-based samples with the same porosity , the coercivity of Fe films decreases with their thicknesses in a certain range. We found that the spongelike structure of PS can be effectively used to control the coercivity of iron films on the PS substrates.

Keywords : porous silicon , spongelike structure , iron films , coercivity

PACC : 7360D , 7550S , 7850G

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 105044027) , the Program for New Century Excellent Talents in University of Chinese Ministry of Education (Grant No. NCET-05-0772) , the Fok Ying Tung Education Foundation (Grant No. 101006) , the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars of the Ministry of Personnel of China , and the Natural Science Foundation of Chongqing (CSTC ǰ Grant No. 2005BB3049).

[†] Corresponding author. E-mail : zhxiang@swu.edu.cn