

离子束刻蚀碲镉汞晶体的电学特性研究

徐国庆 刘向阳 张可锋 杜云辰 李向阳

Study on electrical properties of ion-beam-etched HgCdTe crystal

Xu Guo-Qing Liu Xiang-Yang Zhang Ke-Feng Du Yun-Chen Li Xiang-Yang

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 116102 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.116102

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.116102>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I11>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于蒙特卡洛和器件仿真的单粒子翻转计算方法

Calculation of single event upset based on Monte Carlo and device simulations

物理学报.2014, 63(19): 196102 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.196102>

低剂量率 ^{60}Co γ 射线辐照下 SOI MOS 器件的退化机理

Degradation mechanism of SOI NMOS devices exposed to ^{60}Co γ -ray at low dose rate

物理学报.2012, 61(24): 246101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.246101>

辐照下背栅偏置对部分耗尽型绝缘层上硅器件背栅效应影响及机理分析

Back-gate bias effect on partially depleted SOI/MOS back-gate performances under radiation condition

物理学报.2012, 61(20): 206102 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.206102>

带有 n^+ 深阱的三阱 CMOS 工艺中寄生 NPN 双极效应及其对电荷共享的影响

NPN bipolar effect and its influence on charge sharing in a tripe well CMOS technology with n^+ deep well

物理学报.2012, 61(9): 096102 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.096102>

绝缘氧化层上自离子注入 Si 薄膜 W 线发光性能的调控

Manipulations of properties of the W-line emitting from the Si^+ Self-ion-implanted Si thin films on insulated oxide layer

物理学报.2011, 60(10): 106104 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.60.106104>

离子束刻蚀碲镉汞晶体的电学特性研究

徐国庆^{1)2)3)†} 刘向阳¹⁾²⁾ 张可锋¹⁾²⁾ 杜云辰¹⁾²⁾ 李向阳¹⁾²⁾

1) (中国科学院上海技术物理研究所, 传感技术国家重点实验室, 上海 200083)

2) (中国科学院上海技术物理研究所, 红外成像材料与器件重点实验室, 上海 200083)

3) (中国科学院大学, 北京 100049)

(2014年11月14日收到; 2015年1月22日收到修改稿)

本文利用迁移率谱分析了离子束刻蚀后的碲镉汞晶体, 发现 180 μm 的 p 型碲镉汞晶体在刻蚀后完全转为 n 型, 且由两个不同电学特性的电子层组成: 低迁移率的表面电子层和高迁移率的体电子层. 通过分析不同温度下的迁移率谱, 表明表面电子层的迁移率不随温度而变化, 而体电子层的迁移率随温度的变化与传统的 n 型碲镉汞材料一致. 不同厚度下的霍尔参数表明体电子层的电学性质均匀. 另外, 通过计算得到表面电子层的浓度要比体电子层高 2—3 个数量级.

关键词: 离子束刻蚀, 迁移率谱, 表面电子层, 体电子层

PACS: 61.80.Jh, 73.61.Ga

DOI: 10.7498/aps.64.116102

1 引言

碲镉汞作为一种重要的红外材料, 广泛应用于制备 2—12 μm 的各种红外探测器^[1-3]. 在碲镉汞器件工艺中, 可以采用许多方法制备 p-n 结, 最典型的工艺是 B 离子注入. 随着碲镉汞工艺的发展, 人们发现利用离子束刻蚀也可以制备 p-n 结^[4], 即通过对 p 型碲镉汞进行低能离子束刻蚀, 获得低载流子浓度和高迁移率的 n 型碲镉汞, 形成用于光电吸收和收集的 p-n 结, 有文献报道^[5], 该方法优于 B 离子注入制备的 p-n 结. 目前, 采用离子束刻蚀成结的方法已成功制备了高密度垂直集成器件 (HDVIP)^[6,7].

为了获得高性能的器件, 研究离子束刻蚀碲镉汞的电学特性是十分必要的. 国外自上世纪 80 年代就开展了离子束刻蚀碲镉汞的电学特性研究, 尽管采用的刻蚀技术不同^[8-12], 但均发现了刻蚀后碲镉汞形成的两个不同电学特性的 n 型层, 目前国内在这方面的研究报道较少. 本文采用化学剥层腐

蚀方法对刻蚀后的碲镉汞晶体逐层进行变温变磁场霍尔测试, 并借助迁移率谱^[13,14]和 Petritz 的双层模型^[15], 研究了离子束刻蚀对碲镉汞晶体的电学特性的影响.

2 实验

本文采用的碲溶剂区熔方法获得组分 $x = 0.236$, 汞空位浓度为 $7.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 的 p 型 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 晶体. 材料经过粗抛、精抛和常规表面清洗后, 在 5% 配比的溴乙醇溶液中腐蚀 90 s 去除抛光带来的损伤, 制备厚度为 191 μm 的样品. 将样品置于水冷工作台 ($\sim 291 \text{ K}$), 利用离子束刻蚀设备 (LKJ-1C-150) 对样品进行 Ar 离子束刻蚀. 采用刻蚀能量为 500 eV 和束流密度为 1 mA/cm^2 的刻蚀条件, 样品在刻蚀 30 min 后被去除 11 μm . 刻蚀后的样品在 77 K, 150 K 和 230 K 温度下进行变磁场霍尔测试, 磁场调节范围为 0—1.4 T. 为了进一步分析刻蚀后样品体内的电学特性, 采用化学腐蚀的方法逐层进行变温变磁场霍尔测试.

† 通信作者. E-mail: xuguoqing@mail.sitp.ac.cn

3 结果与讨论

图1是77 K下刻蚀前后样品的迁移率谱,从图1(a)中可直观得到,刻蚀前空穴对电导的贡献大于电子,说明刻蚀前的碲镉汞晶体是p型材料.刻蚀后样品的迁移率谱见图1(b),刻蚀后的样品主要以电子导电为主,说明p型碲镉汞晶体在刻蚀后转为n型.另外,电子迁移率谱中有两个明显的峰:峰1、峰2,表明样品在刻蚀后形成了两个不同电学性质的n型层,且对应的迁移率分别为 $1.5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 和 $1.0 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$,这两层电子代表的应该是刻蚀损伤的表面电子层和体电子层.

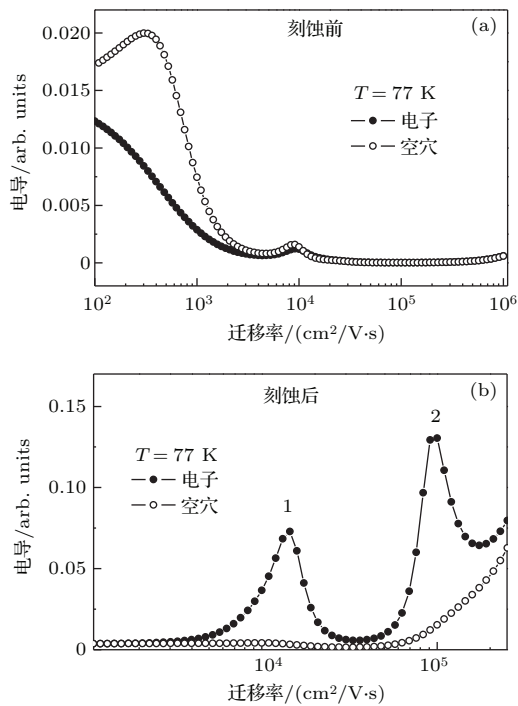


图1 (a) 刻蚀前样品的迁移率谱; (b) 刻蚀后样品的迁移率谱

Fig. 1. (a) Mobility spectrum of the sample before ion etching; (b) mobility spectrum of the sample after ion etching.

为了进一步区分这两层电子的电学特性,图2给出了77 K下腐蚀不同深度后样品的迁移率谱.从图2(a)中可以看出,刻蚀后样品在腐蚀 $8 \mu\text{m}$ 后,低迁移率的电子层不见了,说明峰1代表的应该是有刻蚀损伤的表面电子层,该层电子迁移率偏低且厚度等于或小于 $8 \mu\text{m}$.对比图2(a)和(b),发现刻蚀后样品在腐蚀 $16 \mu\text{m}$ 后,峰2的峰值位置基本不变,说明峰2代表的是体电子层.

为了研究刻蚀后形成的两层电子对温度的依赖关系,图3给出了刻蚀后样品在不同温度下的迁移率谱.

对比图1(b)和图3,发现当温度从77 K升至150 K时,峰1的峰值位置基本不变,说明表面电

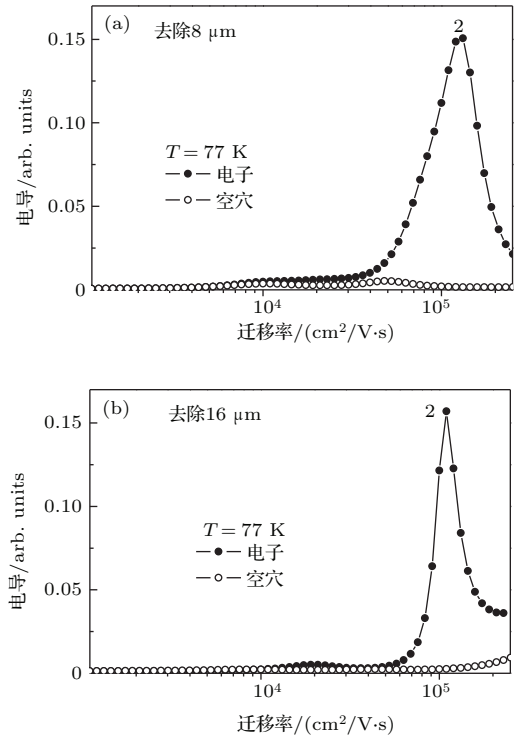


图2 腐蚀后样品的迁移率谱 (a) 去除 $8 \mu\text{m}$; (b) 去除 $16 \mu\text{m}$

Fig. 2. Mobility spectrums of the sample after chemical etching: (a) removing $8 \mu\text{m}$; (b) removing $16 \mu\text{m}$.

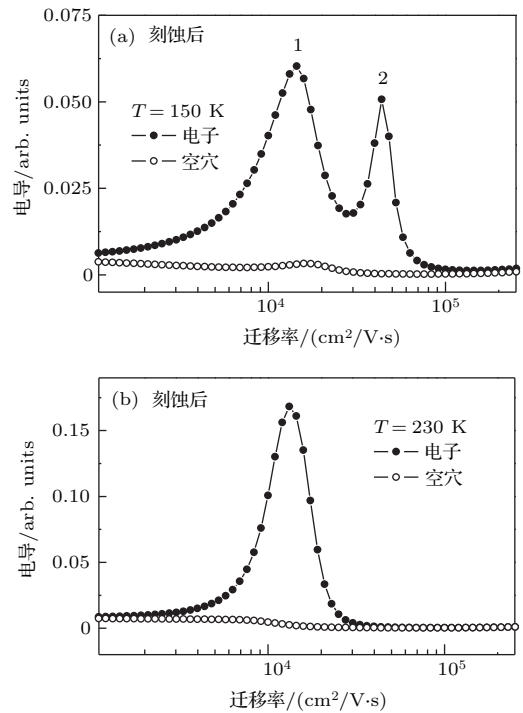


图3 刻蚀后的样品在不同温度下的迁移率谱 (a) 150 K; (b) 230 K

Fig. 3. Mobility spectrums of the ion-etching sample at different temperature: (a) 150 K; (b) 230 K.

子层的迁移率并不随温度而变, 应该是刻蚀造成的晶格损伤, 影响了碲镉汞的散射机理. 与峰1变化不同, 峰2的峰值迁移率随温度的升高而降低, 当温度升至 230 K 时, 发现变为一个峰, 峰值迁移率为 $1.3 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 且对电导的贡献增强, 推测是由于随温度的升高, 体电子层的迁移率继续降低, 在 230 K 时降至 $1.3 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 左右, 基本与表面电子层重合, 可见体电子层的迁移率随温度的变化趋势与传统的 n 型碲镉汞是一致的.

图 4 是 77 K 下体电子层中迁移率和浓度随样品厚度的变化曲线, 从图中可以看出, 体电子层的电学性质均匀, 迁移率和浓度基本不随厚度而变.

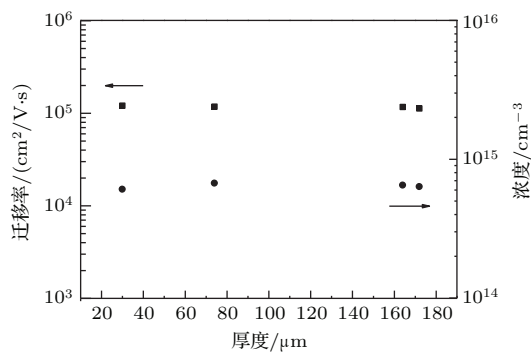


图 4 体电子层中迁移率和浓度随样品厚度的变化曲线
Fig. 4. Mobility and concentration as function of thickness of the bulk layer.

通过以上分析, 说明刻蚀后 180 μm 的 p 型碲镉汞晶体全部转成 n 型, 且按电学特性可分为表面电子层和体电子层, 为了进一步获取表面电子层的浓度, 假设表面电子层的电学性质均匀, 采用 Petritz 的双层模型, 表达式为

$$\sigma = \frac{\sigma_b d_b + \sigma_s d_s}{d}, \quad (1)$$

式中 σ , σ_b 和 σ_s 分别为刻蚀后样品的电导率, 体电子层的电导率和表面电子层的电导率, d , d_b 和 d_s 分别为刻蚀后样品的厚度, 体电子层的厚度和表面电子层的厚度. 将关系式 $\mu = |R_H|\sigma$ 和 $R_H = -1/(ne)$ 代入 (1) 式, 整理得到

$$n_s = \frac{\sigma d - \sigma_b d_b}{e\mu_s d_s} = \frac{\sigma d - \sigma_b(d - d_s)}{e\mu_s d_s}, \quad (2)$$

其中 e 为自由电荷, μ 为迁移率, R_H 为霍尔系数, μ_s 为表面电子层的迁移率, n_s 为表面电子层的浓度.

从迁移率谱中得到表面电子层的厚度等于或小于 8 μm , 利用 (2) 式绘制表面电子层浓度随表面电子层厚度的变化曲线, 见图 5, 公式中电学参数

从 77 K 下的霍尔测试和迁移率谱中得到: $\sigma = 9.04 \Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, $\sigma_b = 8.21 \Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, $\mu_s = 1.5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, $d = 180 \mu\text{m}$. 从图 5 可以看出, 随表面电子层厚度的取值不同, 计算得到的表面电子层的浓度在 1×10^{16} — $1.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 范围内变化, 该层浓度要比体电子层的浓度高 2—3 个量级, 主要是因为离子束在刻蚀碲镉汞晶体时, 不仅破坏了表面晶格结构, 还在表面形成了一层富 Hg 层, 富 Hg 层作为一个 Hg 原子的扩散源向体内扩散 [16], 所以表面电子层的浓度要比体内高很多.

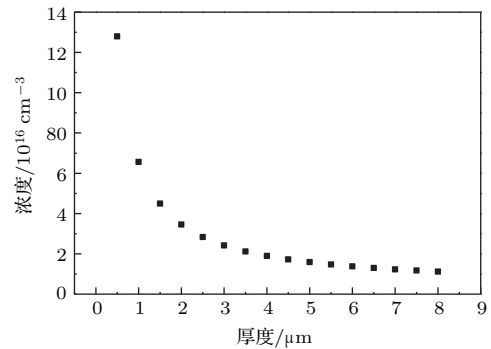


图 5 表面电子层的浓度随表面电子层厚度的变化曲线
Fig. 5. Concentrations as function of the thickness of the surface electron layer.

4 结 论

利用迁移率谱分析了离子束刻蚀后的碲镉汞晶体, 表明 p 型碲镉汞转 n 型后, 生成两个不同电学特性的电子层: 低迁移率的表面电子层和高迁移率的体电子层. 通过对 77 K, 150 K 和 230 K 下迁移率谱的分析, 发现表面电子层的迁移率不随温度而变化, 体电子层的迁移率随温度的升高而降低, 与传统的 n 型碲镉汞电学特性一致. 霍尔测试表明体电子层的电学性质均匀且浓度在 $6 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 左右. 另外, 通过 Petritz 双层模型计算出表面电子层的浓度要比体电子层高 2—3 个数量级.

参考文献

- [1] Reine M B 2009 *Proc. of SPIE* **7298** 72982S
- [2] Ashcroft A, Baker I 2010 *Proc. of SPIE* **7660** 76603C
- [3] Antoszewski J, Dell J M, Faraone L 2009 *Proc. of SPIE* **7298** 729830
- [4] Wotherspoon J T M 1981 *UK Patent* 209898
- [5] Bazhenov N I, Gasanov S I, Ivanov V I, Mironov K E, Mynbaev K O 1991 *Sov. Phys. Semicond.* **25** 2196

- [6] Strong R L, Kinch M A, Armstrong J M 2013 *J. Elec. Mat.* **42** 3103
- [7] Armstrong J M, Skokan M R, Kinch M A 2014 *Proc. of SPIE* **9070** 907033
- [8] Belas E, Hoschi P, Grill R, France J, Moravec P, Lischka K, Sitter H, Toth A 1993 *Semicond. Sci. Technol.* **8** 1695
- [9] Izhnin I I, Izhnin A I, Kurbanov K R, Prytuljak B B 1997 *SPIE* **3182** 383
- [10] Berchenko N N, Bogoboy V V, Izhnin I I, Kurbanov K R, Vlasov A P, Yudenkov V A 2003 *Opto-Electron. Rev.* **11** 93
- [11] Nguyen T, Antoszewski J, Musca C A, Redfern D A, Dell J M, Faraone L 2002 *Journal of Electronic Materials* **31** 652
- [12] Bogoboyashchyy V V, Izhnin I I, Mynbaev K D, Pociask M, Vlasov A P 2006 *Semicond. Sci. Technol.* **21** 1144
- [13] Zhang K F, Lin T, Wang N L, Wang R, Jiao C L, Lin X C, Zhang L P, Li X Y 2011 *J. Infrared Millim. Waves* **30** 301 (in Chinese) [张可锋, 林铁, 王妮丽, 王仍, 焦翠灵, 林杏潮, 张莉萍, 李向阳 2011 红外与毫米波学报 **30** 301]
- [14] Meyer J J R, Hoffman C A, Bartoli F J, Antoszewski J, Faraone L 1998 *US Patent* 5789931
- [15] Petritz R L 1958 *Phys. Rev.* **110** 1254
- [16] Lu H Q 1998 *Ph. D. Dissertation* (Shanghai: Shanghai Institute of Technical Physics) (in Chinese) [陆慧庆 1998 博士学位论文 (上海: 上海技术物理研究所)]

Study on electrical properties of ion-beam-etched HgCdTe crystal

Xu Guo-Qing^{1)2)3)†} Liu Xiang-Yang¹⁾²⁾ Zhang Ke-Feng¹⁾²⁾
 Du Yun-Chen¹⁾²⁾ Li Xiang-Yang¹⁾²⁾

1) (State Key Laboratory of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

2) (Key Laboratory of Infrared Imaging Material and Detectors, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

3) (University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(Received 14 November 2014; revised manuscript received 22 January 2015)

Abstract

In this paper, we study the electrical properties of ion-beam-etched $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x = 0.236$) crystal with the help of mobility spectrum analysis technique. In step-by-step chemical etching, it is shown that the p-HgCdTe is completely converted to the n-type one which includes a damaged surface electron layer with a low mobility and a bulk electron layer with a higher mobility after ion etching. The mobility spectra at different temperatures show that the mobility of the surface electrons is independent of temperature in the measurement temperature range while the bulk electrons exhibit a classical behavior of n-HgCdTe with characteristics that are strongly dependent on temperature. Hall data for different thicknesses show that the electrical properties of the bulk layer are uniform. Otherwise, the surface electron layer may be found to consist of a concentration about 2—3 order of magnitude higher than the bulk electron layer.

Keywords: ion beam etching, mobility spectrum, surface electron layer, bulk electron layer

PACS: 61.80.Jh, 73.61.Ga

DOI: 10.7498/aps.64.116102

† Corresponding author. E-mail: xuguoqing@mail.sitp.ac.cn