

Cu 对用于高速相变存储器的 Sb_2Te 薄膜的结构及相变的影响研究

王东明 吕业刚 宋三年 王苗 沈祥 王国祥 戴世勋 宋志棠

Effect of Cu on the structure and phase-change characteristics of Sb_2Te film for high-speed phase change random access memory

Wang Dong-Min Lü Ye-Gang Song San-Nian Wang Miao Shen Xiang Wang Guo-Xiang Dai Shi-Xun Song Zhi-Tang

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 156102 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.156102

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.156102>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I15>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

应用于相变存储器的 $\text{Cu-Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 薄膜的结构及相变特性研究

Structure and phase change in $\text{Cu-Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_5$ films for use in phase change random access memory

物理学报.2015, 64(1): 016103 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.016103>

生长条件对脉冲激光沉积制备 ZnO:Al 薄膜光电性能的影响

Influence of the growth conditions on the transparent conductive properties of ZnO:Al thin films grown by pulsed laser deposition

物理学报.2013, 62(21): 216102 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.216102>

低温下二硫化钼电子迁移率研究

Investigation on mobility of single-layer MoS_2 at low temperature

物理学报.2013, 62(20): 206101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.206101>

串口型铁电存储器总剂量辐射损伤效应和退火特性

Serial ferroelectric memory ionizing radiation effects and annealing characteristics

物理学报.2013, 62(15): 156107 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.156107>

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>

Cu对用于高速相变存储器的Sb₂Te薄膜的结构及相变的影响研究*

王东明¹⁾ 吕业刚^{1)†} 宋三年²⁾ 王苗¹⁾ 沈祥³⁾ 王国祥³⁾
戴世勋³⁾ 宋志棠²⁾

1)(宁波大学信息科学与工程学院, 宁波 315211)

2)(中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

3)(宁波大学高等技术研究院, 红外材料及器件实验室, 宁波 315211)

(2014年10月6日收到; 2015年3月18日收到修改稿)

采用原位X射线衍射仪、拉曼光谱仪和X射线反射仪分别研究了Cu-Sb₂Te薄膜的微结构、成键结构和结晶前后的密度变化. Sb₂Te薄膜的结晶温度随着Cu含量的增加而增大. 在10 at.%和14 at.% Cu的Sb₂Te薄膜中, Cu与Te成键, 结晶相由六方相的Cu₇Te₄、菱形相的Sb及六方相的Sb₂Te构成. 10 at.%和14 at.% Cu的Sb₂Te薄膜在结晶前后的厚度变化分别约为3.2%和4.0%, 均小于传统的Ge₂Sb₂Te₅ (GST)薄膜. 制备了基于Cu-Sb₂Te薄膜的相变存储单元, 并测试了其器件性能. Cu-Sb₂Te器件均能在10 ns的电脉冲下实现可逆SET-RESET操作. SET和RESET操作电压随着Cu含量的增加而减小. 疲劳测试结果显示, Cu含量为10 at.%和14 at.%的PCRAM单元的循环操作次数分别达到 1.3×10^4 和 1.5×10^5 , RESET和SET态的电阻比值约为100. Cu-Sb₂Te可以作为应用于高速相变存储器(PCRAM)的候选材料.

关键词: 相变存储器, 相变存储材料, 结构

PACS: 61.82.Fk, 68.60.-p, 61.46.-w

DOI: 10.7498/aps.64.156102

1 引言

日益增长的消费电子市场对非易失性存储器的速度、密度和功耗等性能提出了更高的要求^[1]. 基于硫系化合物的相变存储器(PCRAM)能满足这一要求, 被广泛认为是最具前景的非挥发存储器之一, 有可能成为下一代非挥发存储器^[2,3]. 这源于PCRAM有近乎完美的性能, 例如微缩性好、数据保持力强、成本低及与CMOS工艺兼容性好等特点^[4,5].

伪二元GeTe-Sb₂Te₃相变材料, 尤其是Ge₂Sb₂Te₅(GST), 是当前应用在PCRAM中的主流材料, GST是应用最广泛的相变材料, 因为其

在热稳定性和速度之间有着较好的均衡^[6]. 尽管如此, GST仍然存在某些不足: 1) GST较高的熔点及较低的晶态电阻率使得PCRAM需要较大的驱动电流来完成RESET操作, 进而导致较大的功耗^[7-9]. 2)采用0.18 μm CMOS工艺, 基于GST的PCRAM器件单元需要几百纳秒的电脉冲完成SET和RESET操作^[10], 所以GST的结晶速度有待提高. 与GST相比, 富Sb的Sb-Te材料具有很多优点, 例如较低的熔点和较快的结晶速度^[11,12]. 然而, 较低的结晶温度使得该材料不具备满意的数据保持力^[13]. 通过Si或Ga的掺杂能在一定程度上优化其相变性能, 提高热稳定性^[14,15]. 然而, Si-Sb-Te材料中成分分布不均匀及Ga-Sb-Te材料的开关比不理想等问题阻碍了这些材料在PCRAM

* 国家自然科学基金(批准号: 61306147, 61377061)、宁波市自然科学基金(批准号: 2014A610121)和宁波大学王宽城幸福基金资助的课题.

† 通信作者. E-mail: lvyegang@nbu.edu.cn

中的商用进程. 另外, 在操作速度上并没有明显的改进: 仍然需要几十个纳秒的电脉冲操作. 近来, Cu 被广泛地应用在高速集成互联技术中, 因为其在可靠性等方面具有许多优点. Cu 还可以作为电极应用在阻变存储器 (RRAM) 中, 通过氧化层形成金属细丝导电通道实现电阻转变^[16]. 虽然将 Cu 引入 Sb₂Te 中, 能大大提高 Sb₂Te 的热稳定性^[17], 但我们对 Cu-Sb₂Te 薄膜的微结构、相变特性及器件性能还缺乏系统的认识. 在本论文中, 采用原位 X 射线衍射仪、拉曼光谱仪和 X 射线反射仪分别研究了 Cu 含量对 Sb₂Te 薄膜的晶体结构、成键环境和结晶前后密度的影响; 制备了不同 Cu 含量的 Sb₂Te 相变存储器, 并对基于 Cu-Sb₂Te 的相变存储器进行了系统地表征, 筛选出最优组分. 本文研究表明 Cu-Sb₂Te 薄膜, 特别是 14 at.% 的组分, 是应用于高速 PCRAM 的候选材料.

2 实验

采用 Cu, Sb 和 Te 单质靶通过磁控共溅射在 SiO₂/Si (100) 基底上制备 Cu-Sb₂Te 薄膜. 薄膜成分采用 EDS 测定. 施加在 Sb 和 Te 靶的直流电源功率分别约为 30 和 15 W, 使薄膜的 Sb 与 Te 原子比为 2 : 1. 当 Cu 靶上的射频功率为 35, 45 和 57 W 时, Cu 的含量 (Cu/(Cu+Sb+Te) 100%) 分别为 10 at.%, 14 at.% 和 19 at.%. 薄膜厚度采用溅射时间来控制. Cu-Sb₂Te 薄膜的晶体结构采用原位升温 XRD (PW3040/60 X' Pert Pro, PANalytical) 分析, 由 Cu 靶辐射, 波长为 1.54056 Å. 升温速率为 20 °C/min, 达到测试温度时, 先保持 1 min 使样品的温度稳定后, 再进行 X 射线扫描. 完成测试后, 再升温到下一个温度点进行测试. 采用拉曼光谱仪测试了 Cu-Sb₂Te 薄膜的成键结构. 采用 X 射线反射仪 (XRR) 测试了薄膜的厚度变化. 基于 Cu-Sb₂Te 薄膜的 PCRAM 单元, 其电流-电压 (*I-V*)、电阻-电压 (*R-V*) 和疲劳性能采用 Tektronix AWG5012B 任意波形发生器和 Keithley 2602A 参数分析仪进行了测试.

3 结果与讨论

图 1 是不同 Cu 含量的 Sb₂Te 薄膜的原位 XRD 图谱. 由图 1(a) 可知, 沉积态的 Cu-Sb₂Te 薄膜处于非晶态. 随着退火温度的升高, Cu 含量为

10 at.% 的 Sb₂Te 薄膜在 160 °C 时开始出现衍射峰. 这说明 10 at.% Cu 的 Sb₂Te 薄膜的结晶温度在 150 到 160 °C 之间. 当温度继续上升至 350 °C 时, Sb₂Te 薄膜没有出现新的衍射峰. Cu 含量为 14 at.% 和 19 at.% 的 Sb₂Te 薄膜的结晶温度增加至 180 °C, 如图 1(b) 和 (c) 所示. 在 Sb₂Te 掺入 Cu 后, 由于 Cu(1.9) 的电负性小于 Sb(2.05) 和 Te(2.1) 的电负性, 导致 Cu-Sb₂Te 薄膜中形成具有离子趋向的共价键. 因此, 原子键的强度会增强. 此外,

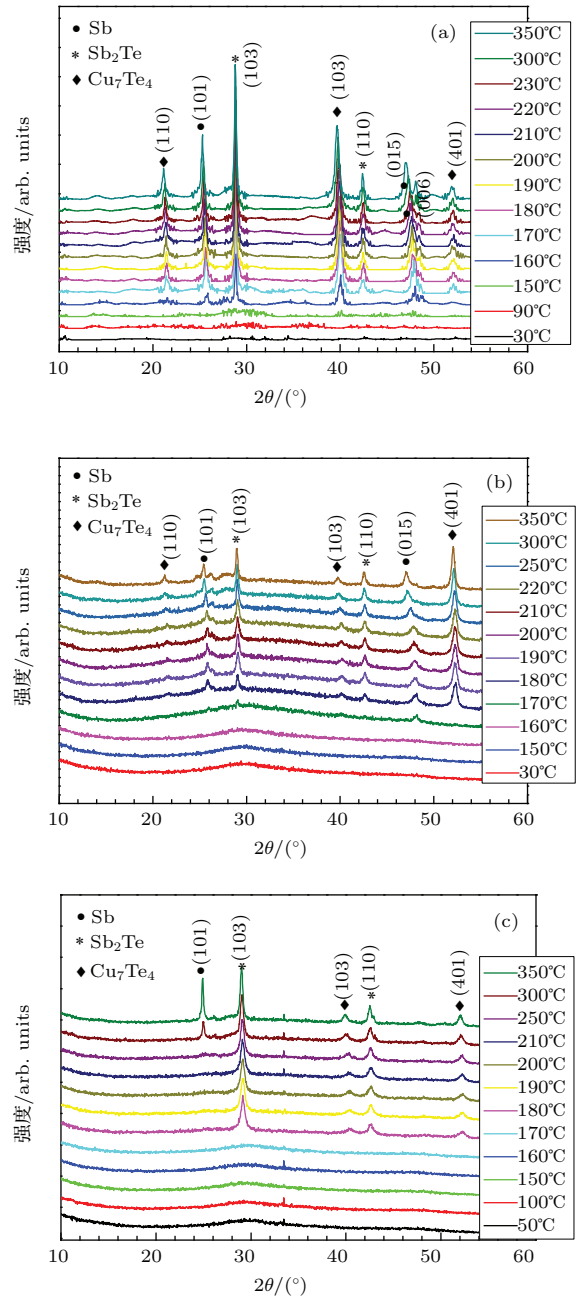


图 1 (网刊彩色) Cu 含量为 (a) 10 at.%, (b) 14 at.%, 及 (c) 19 at.% 的 Sb₂Te 薄膜的原位 XRD 图谱

Fig. 1. (color online) In-situ XRD patterns of Sb₂Te films with Cu content of (a) 10 at%, (b) 14 at%, and (c) 19 at%.

Cu 引入后, 会产生更多的成键, 例如 Cu-Te, 因而原子的迁移受到更多约束. 在结晶过程中, 原子重新排布需要更多的能量, 以克服更为复杂的分支和交叉链接的刚性原子网络^[18], 因而 Cu 的引入改善了 Sb₂Te 薄膜在非晶态的热稳定性, 这对提升器件的数据保持力大有裨益. 采用标准的 PDF 卡片 (#35-0732, #80-1722 及 #18-0456) 对主要的衍射特征峰进行分析. 结果发现, 在 350 °C 时, 10 at.%, 14 at.% 和 19 at.% Cu 的 Sb₂Te 薄膜的结晶相是六方相的 Cu₇Te₄、菱形相的 Sb 及六方相的 Sb₂Te, 如图 1 所示. 菱形相的 Sb 的峰位随着温度的升高而明显地移向小衍射角度方向, 而六方相 Cu₇Te₄ 和 Sb₂Te 的峰位几乎没有移动. 这说明菱形相 Sb 的晶格常数随着温度的升高而显著增大, 而 Cu₇Te₄ 和 Sb₂Te 的晶格常数几乎没有变化. 在 160 °C 时, 10 at.% Cu 含量的 Sb₂Te 薄膜的 Sb(101) 峰和 Sb(015) 峰分别位于 25.74° 和 47.98°, 晶格常数为 $a = 4.203 \text{ \AA}$ 和 $c = 11.094 \text{ \AA}$. 在 350 °C 时, Sb 相的晶格常数 a 和 c 分别增大至 4.281 Å 和 11.304 Å. 14 和 19 at.% Cu 含量的 Sb₂Te 薄膜也观察到类似的现象.

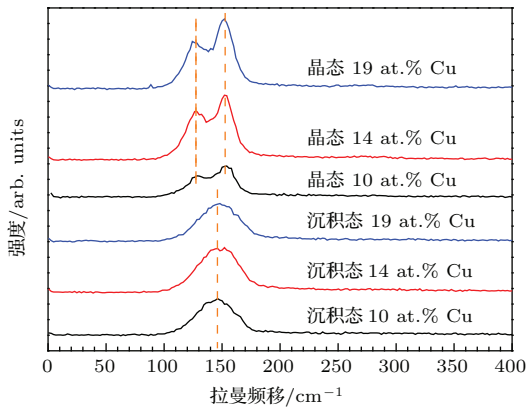


图 2 Cu-Sb₂Te 的拉曼图谱
Fig. 2. Raman patterns of Cu-Sb₂Te films.

图 2 是 Cu-Sb₂Te 薄膜在沉积态和晶态下的拉曼图谱. 可以看出, 沉积态下的 Cu-Sb₂Te 薄膜在 145 cm⁻¹ 处出现较宽的包络, 且该包络不随 Cu 掺杂含量增加而变化, 表明沉积态下的 Cu-Sb₂Te 薄膜处于非晶态. Cu 含量为 10 at.% 和 14 at.% 的 Sb₂Te 经 300 °C 退火处理后, 其拉曼谱由初始的包络分裂成两个单峰, 位于 127 cm⁻¹ 与 155 cm⁻¹ 处. 这是由于在结晶过程中原子重组引起成键结构发生变化. 127 cm⁻¹ 处的特征峰源自 Cu-Te 键的振动^[19], 而 155 cm⁻¹ 处的拉曼峰归因于 Sb-Te 及

Sb-Sb 键的振动. 随着 Cu 含量的继续增加, Cu-Te 键数量增多, 键振动增强, 因此拉曼峰变得更为尖锐. 与此同时, Sb 被 Cu 取代后, 同质键 Sb-Sb 增加, 因而使得 155 cm⁻¹ 处的峰振动增强, 如图 2 所示.

薄膜结晶前后伴随着密度的变化, 这会影响到与电极之间的界面应力和接触的可靠性, 进而影响 PCRAM 的循环寿命. 通过 XRR 测量, 采用修正的布拉格方程拟合采集的数据, 计算得到薄膜的厚度^[20]. 同一批次制备的薄膜分成两组: 一组沉积态的薄膜不经过任何退火处理, 即非晶态; 另一组经过退火处理使其完全晶化: 在高纯 N₂ 中以 300 °C 的温度退火 2 min. 图 3 (a) 和 (b) 分别是 Cu 含量为 10 at.% 和 14 at.% 的 Sb₂Te 薄膜在结晶前后的 XRR 图谱. 结晶后, XRR 图谱上最大或最小强度所对应衍射角向大的角度方向移动, 表明薄膜结晶后的密度增大, 厚度减小. 薄膜厚度 t 可以从反射谱干涉曲线上的最大值和最小值通过修正的布拉格方程求得. 修正的布拉格方程为^[21]

$$\sin^2 \theta = 2\delta + (m + \Delta m)^2 (l/2t)^2, \quad (1)$$

m 为反射级数 ($m = 1, 2, 3, \dots$), l 为 Cu 靶的特征谱线波长 (0.154 nm); θ 为反射曲线中第 m 级的最大或最小强度所对应的角度; Δm 为修正值. 如果薄膜的质量密度大于衬底的质量密度, 最大强度处 Δm 取 0.5, 最小强度处取 0; 否则, 最大强度处 Δm 取 0, 最小强度处取 0.5. 在图 3 (a), (b) 的 XRR 图谱中, 取出最大或最小强度对应的角度和级数, 以 $\sin^2 \theta$ 与 $(m + \Delta m)^2$ 的关系作图, 即得到修正布拉格方程曲线, 通过线性拟合得到斜率 k , 则薄膜的厚度 t 为

$$t = \frac{\lambda}{2\sqrt{k}}. \quad (2)$$

图 3 (c) 和 (d) 分别是 Cu 含量为 10 at.% 和 14 at.% 的 Sb₂Te 薄膜根据修正布拉格方程得到的线性拟合图. 由拟合曲线的斜率得到薄膜的厚度. 经计算可得, Cu 含量为 10 at.% 和 14 at.% 的 Sb₂Te 薄膜的厚度变化百分比分别为 3.2% 和 4.0%, 均小于常用 GST 的厚度变化 ($\geq 6.5\%$). 假设薄膜在退火过程中没有出现挥发等现象导致的成分缺失, 那么薄膜的密度变化值接近厚度的变化值^[21]. 因此, Cu-Sb₂Te 薄膜的密度变化小于 GST 的密度变化, 这有利于减小引入的应力, 对 PCRAM 器件的循环寿命大有裨益.

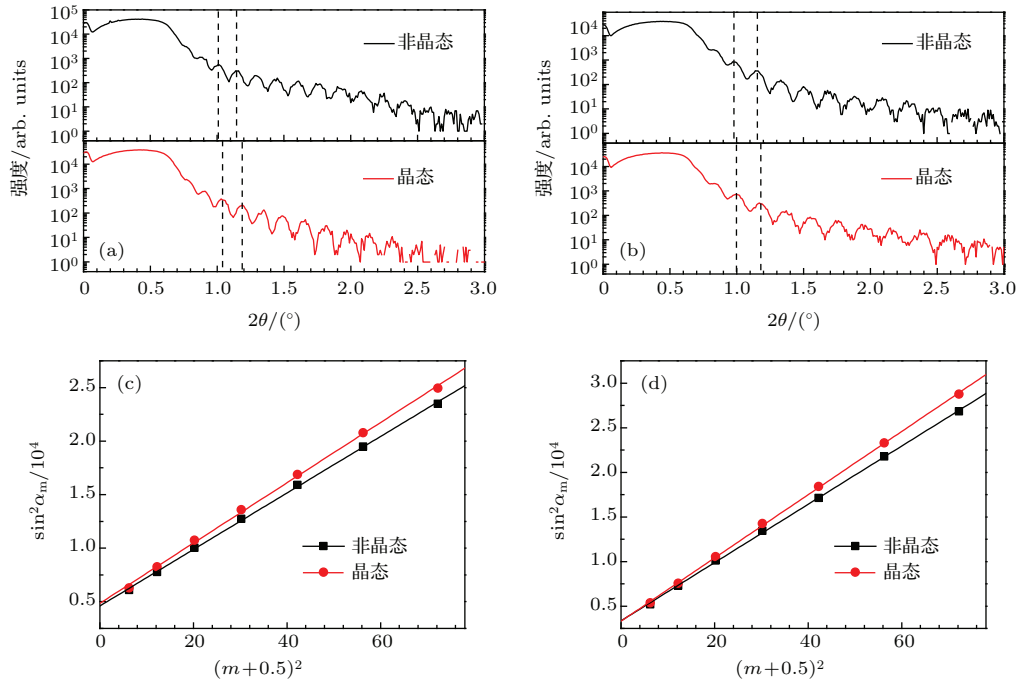


图3 Cu含量为(a) 10 at.%和(b) 14 at.%的Sb₂Te薄膜在结晶前后的XRR图谱; Cu含量为(c) 10 at.%和(d) 14 at.%的Sb₂Te薄膜在结晶前后的修正布拉格方程拟合曲线
 Fig. 3. XRR patterns of Sb₂Te films with Cu content of (a) 10 and (b) 14 at.% upon crystallization; Fit curve based on modified Bragg's equation for (a) 10 and (b) 14 at.% Cu.

图4(a)—(c)分别是Cu含量为10 at.%, 14 at.%和19 at.%的Sb₂Te器件单元的R-V特性曲线. 在电脉冲下的作用下, 基于这三个组分制备的PCRAM单元均实现了可逆相变, 即得到了电阻窗

口. 高阻态(RESET)和低阻态(SET)的电阻比值达到两个数量级. 三个器件的最小SET和RESET操作电压随着电脉冲宽度的增加而减小, 这是由于翻转需要消耗等量的能量. 在同一电脉冲宽度下,

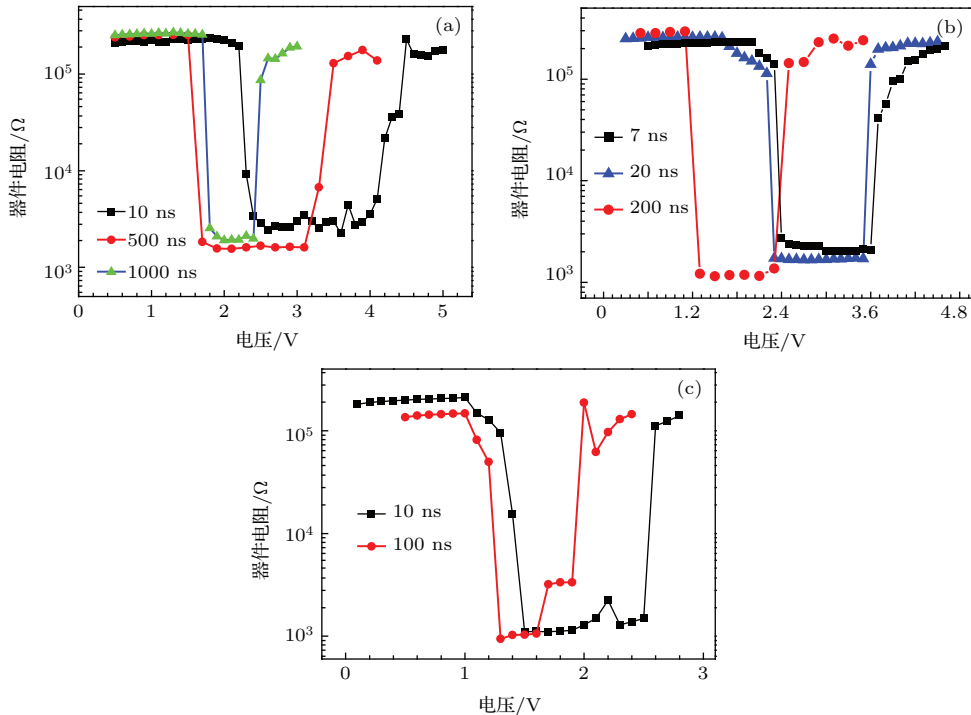


图4 Cu含量为(a) 10 at.%, (b) 14 at.%及(c) 19 at.%的Sb₂Te器件单元的R-V特性曲线
 Fig. 4. R-V Characteristics of Sb₂Te-based devices with (a) 10 at.%, (b) 14 at.%, and (c) 19 at.% Cu.

SET和RESET操作电压随着Cu含量的增加而减小. 在速度方面, 10 ns的电脉冲下可以完成SET和RESET操作, 这可以满足DRAM的速度要求. 特别是Cu含量为14 at.%的组分, 其电阻窗口可以在电脉冲宽度降至7 ns下获得. 生长占主导的结晶机理可能是富Sb的CuSb₄Te₂材料具有超快速度的原因. Cu-Sb₂Te薄膜的结晶过程中含有产物Sb(见图1). Sb的结晶机理为爆发式结晶, 即结晶时会释放热量来驱动周围的非晶区域进一步结晶的热学过程[22,23]. 此外, Sb的微晶起到一个催化作用来诱导薄膜随后的结晶, 进而减小相变材料的结晶时间[11,24]. 而GST属于成核占主导的结晶机理, 结晶过程中需要更多的时间来成核[11]. 所以, 与GST相比[10], Cu-Sb₂Te薄膜具有更快的操作速度.

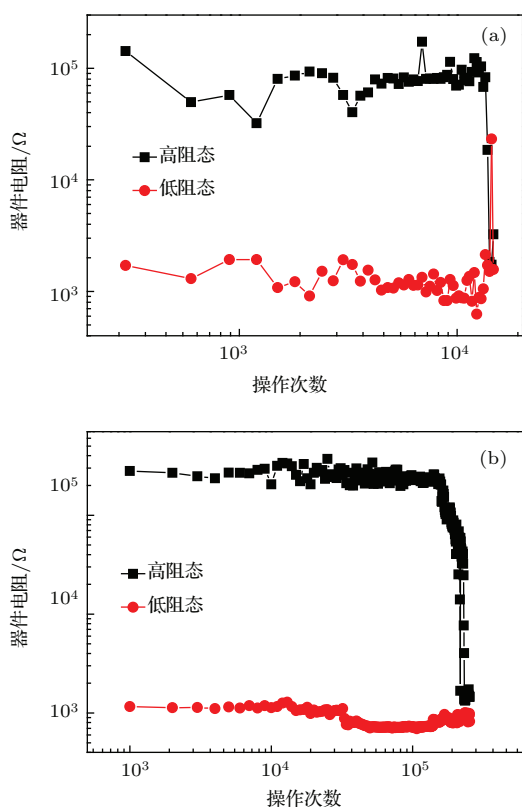


图5 Cu含量为(a) 10 at.%和(b) 14 at.%的Sb₂Te器件单元的循环操作次数

Fig. 5. Cycle numbers of Sb₂Te-based devices with (a) 10 at.% and (b) 14 at.% Cu.

良好的疲劳性能是相变存储器的一大优点. 在10 at.% Cu器件获得稳定电阻窗口的基础上, 采用2 V-500 ns和4 V-200 ns的电脉冲分别作为SET和RESET操作参数, 循环操作次数达到 1.3×10^4 次, 如图5(a)所示. 14 at.% Cu器件单元采用1.8

V-200 ns和3.8 V-50 ns的电脉冲, 循环次数达到 1.5×10^5 , 如图5(b)所示. 两器件的RESET和SET态电阻比均约为两个数量级. 尽管如此, 将Cu-Sb₂Te集成到大规模生产中还是存在一些问题, 例如分相和界面黏附等. 分相可能会导致相变性能的恶化, 尤其是在10 nm节点以下显得特别严重. 这进一步去找出具有化学计量比的Cu-Sb₂Te薄膜, 以在高速PCRAM中实现商用价值.

4 结 论

本文系统研究了应用在高速PCRAM中的Cu-Sb₂Te相变材料. 10 at.%和14 at.% Cu的Sb₂Te薄膜结晶为六方相的Cu₇Te₄、菱形相的Sb及六方相的Sb₂Te, 其中菱形相的Sb的晶格常数随着温度的升高而显著增大. 与GST相比, Cu-Sb₂Te薄膜结晶前后的厚度变化小, 有助于在反复操作中提高Cu-Sb₂Te薄膜与电极的接触可靠性. 在PCRAM器件单元中, SET和RESET操作电压随着Cu含量的增加而减小. 在Cu-Sb₂Te薄膜中, 14 at.% Cu的组分具有较好的综合性能. 它能在7 ns的电脉冲下实现可逆操作, 其循环操作次数达到 1.5×10^5 次, 高低阻态的比值达到两个数量级, 是Cu-Sb₂Te的优化组分, 具有应用于高速PCRAM的潜力.

参考文献

- [1] Bez R, Pirovano A 2004 *Mater. Sci. Semicond. Process* **7** 349
- [2] Wuttig M, Yamada N 2007 *Nat. Mater.* **6** 824
- [3] Wong H S P, Raoux S, Kim S, Liang J L, Reifenberg J P, Rajendran B, Asheghi M, Goodson K E 2010 *Proc. IEEE* **98** 2201
- [4] Ielmini D, Mantegazza D, Lacaita A L, Pirovano A, Pelliczer F 2005 *Solid-State Electron.* **49** 1826
- [5] Lacaita A L 2006 *Solid-State Electron.* **50** 24
- [6] Simpson R E, Krbal M, Fons P, Kolobov A V, Tominaga J, Uruga T, Tanida H 2010 *Nano. Lett.* **10** 414
- [7] Burr G W, Breitwisch M J, Franceschini M, Garetto D, Gopalakrishnan K, Jackson B, Kurdi B, Lam C, Lastras L A, Padilla A, Rajendran B, Raoux S, Shenoy R S 2010 *J. Vac. Sci. Technol. B* **28** 223
- [8] Lv H, Zhou P, Lin Y, Tang T, Qiao B, Lai Y, Feng J, Cai B, Chen B 2006 *Microelectron. J.* **37** 982
- [9] Qiao B, Feng J, Lai Y, Ling Y, Lin Y, Tang T, Cai B, Chen B 2006 *Appl. Surf. Sci.* **252** 8404
- [10] Lu Y, Song S, Gong Y, Song Z, Rao F, Wu L, Liu B, Yao D 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 243111

- [11] van Pieterse L, Lankhorst M H R, van Schijndel M, Kuiper A E T, Roosen J H J 2005 *J. Appl. Phys.* **97** 083520
- [12] Tomas Wagner¹ J G, Jiri Orava³, Jan Prikryla⁴, Petr Bezdic⁵, Miroslav Bartosa⁶, Milan Vlceka⁷ and Miloslav Frumara⁸ 2008 *MRS Proceedings* **1072**
- [13] Wang F, Zhang T, Song Z, Liu C, Wu L, Liu B, Feng S, Chen B 2008 *Jpn. J. Appl. Phys.* **47** 843
- [14] Rao F, Ren K, Gu Y, Song Z, Wu L, Zhou X, Liu B, Feng S, Chen B 2011 *Thin Solid Films* **519** 5684
- [15] Kao K F, Lee C M, Chen M J, Tsai M J, Chin T S 2009 *Adv. Mater.* **21** 1695
- [16] Peng S, Zhuge F, Chen X, Zhu X, Hu B, Pan L, Chen B, Li R W 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 072101
- [17] Lu Y, Song S, Song Z, Rao F, Wu L, Zhu M, Liu B, Yao D 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 193114
- [18] Lee C M, Lin Y I, Chin T S 2004 *J. Mater. Res.* **19** 2929
- [19] Yi-Ming C, Kuo P C 1998 *IEEE Trans. Magn.* **34** 432
- [20] Zhang J, Tang Y, Wu W 2007 *High Power Laser and Particle Beams* **19** 1317
- [21] Njoroge W K, Woltgens H-W, Wuttig M 2002 *J. Vac. Sci. Technol. A* **20** 230
- [22] Leamy H J 1981 *Appl. Phys. Lett.* **38** 137
- [23] Kaiser N 1984 *Thin Solid Films* **116** 259
- [24] Simpson R E, Fons P, Kolobov A V, Krbal M, Tominaga J 2012 *Appl. Phys. Lett.* **100** 021911.

Effect of Cu on the structure and phase-change characteristics of Sb₂Te film for high-speed phase change random access memory*

Wang Dong-Min¹⁾ Lü Ye-Gang^{1)†} Song San-Nian²⁾ Wang Miao¹⁾ Shen Xiang³⁾
Wang Guo-Xiang³⁾ Dai Shi-Xun³⁾ Song Zhi-Tang²⁾

1) (Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

2) (Shanghai Institute of Micro-system and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

3) (Infrared Material and Device Laboratory of High Tech Research Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

(Received 6 October 2014; revised manuscript received 18 March 2015)

Abstract

In this paper, in-situ X-ray diffractometer, Raman spectrometer, and X-ray reflectometer are employed to study the crystal structure, bonding states, and density change upon crystallization of Cu-Sb₂Te films. It is shown that the crystallization temperature increases with increasing Cu content due to much more energy being required to overcome the rigid atomic network for the atoms rearrangement as a result of the complex branching and cross links. In X-ray diffraction pattern, both hexagonal Cu₇Te₄ and Sb₂Te peaks have nearly the same peak positions, while the rhombohedral Sb peaks shift obviously their positions toward a small angle upon heating, suggesting a significant increase in lattice parameters of Sb phase. A Cu-Te bond is formed in Sb₂Te films containing 10 at% and 14 at% Cu which are crystallized into hexagonal Cu₇Te₄, rhombohedral Sb and hexagonal Sb₂Te three phases. When Cu concentration increases to 19 at%, Cu-Te bond becomes full, and the excess of Cu will bond with Sb. Compared with Ge₂Sb₂Te₅ (GST), Sb₂Te films with 10 at% and 14 at% Cu have lower density changes upon crystallization which are about 3.2% and 4.0%, respectively. Phase change random access memory (PCRAM) based on Cu-Sb₂Te is successfully fabricated and characterized. Operations of set-reset can be realized in a 10 ns pulse for Cu-Sb₂Te based PCRAM. The value of set and reset operation voltage decreases with increasing Cu content. The endurance test shows that the operation cycle numbers can reach 1.3×10^4 and 1.5×10^5 for the 10 at% and 14 at% Cu-based PCRAMs, respectively. The resistance ratio of reset and set states maintains a balance of about 100. Cu-Sb₂Te film may be considered as one of the promising candidates for high-speed PCRAM.

Keywords: PCRAM, phase change material, structure

PACS: 61.82.Fk, 68.60.-p, 61.46.-w

DOI: 10.7498/aps.64.156102

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 306147, 61377061), Ningbo Municipal Natural Science Foundation, China (Grant No. 2014A610121), and Sponsored by K. C. Wong Magna Fund in Ningbo University.

† Corresponding author. E-mail: lyegang@nbu.edu.cn