

InSb 薄膜热导率温度特性及传热机理

黄正兴^{*1,2}, 孙豪^{1,2}, 李奇松³, 管相宇^{1,2}

(1. 大连理工大学 电子信息与电气工程学部, 辽宁 大连 116024;

2. 辽宁省集成电路技术重点实验室, 辽宁 大连 116024;

3. 中国科学院上海光学精密机械研究所 高密度光存储实验室, 上海 201800)

摘要: InSb 薄膜广泛应用于高精度的光电存储、红外探测和红外热成像技术以及超分辨掩膜层技术中, 热导率及其温度特性是影响薄膜实际应用的关键因素. 采用瞬态热反射方法测试了厚度为 70~200 nm 的 InSb 薄膜在非晶态和晶态下热导率, 并探讨了其中的传热机理. 对于晶态 InSb 薄膜, 热导率为 $(0.55 \pm 0.055) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 并且随温度的变化不明显; 而非晶态 InSb 薄膜在温度 450 K 以下时热导率为 $(0.37 \pm 0.037) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. 当温度在 450 K 以上时, 由于薄膜从非晶态转化为晶态, 其热导率经历了一个突然的升高过程. 无论是晶态还是非晶态薄膜样品, 热导率与薄膜厚度都没有明显依赖关系. 研究结果可以为 InSb 薄膜的实际应用提供有益的参考.

关键词: InSb 薄膜; 晶态和非晶态; 热导率; 温度特性

中图分类号: TK124

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201805012

0 引言

相变材料广泛应用于信息存储^[1-3]、光热印刷^[4-5]等技术中. 对于数据存储, 激光和电脉冲的相互作用使得相变材料薄膜在一个特定的结晶温度周围会发生晶态和非晶态的相变, 信息位 0 和 1 的记录和读取是根据其晶态和非晶态下不同结构造成的不同反射率或者电阻率决定的^[6]. 相变材料领域一直在探索新的功能, 比如光子器件设备, 具有超分辨结构的光学掩膜(可以减少光刻掩膜层的宽度和厚度), 红外探测、成像装置以及热光刻设备等^[7-9]. 在相变材料中, Ge₂Sb₂Te₅、Ge₁Sb₂Te₄、Ge₁Sb₄Te₇^[10-11], 都是在实际应用中最常见的. 其中典型的 Ge₂Sb₂Te₅ 材料已经有了多项应用, 比如具有超分辨率结构的掩膜^[12]、图像印刷技术等^[13].

InSb(锑化铟)相变材料是近年来兴起的一种新型相变材料. InSb 薄膜对 1~5 μm 的波长敏感度高, 此特性决定了其在红外探测领域的重要作

用. 早在 1952 年, 窄禁带的相变材料 InSb 就已经被开发出来并逐渐开始广泛应用于红外探测器、红外雷达系统、红外热成像仪和红外天文学等^[14]. InSb 在所有已知的化合物半导体材料中拥有最大的电子迁移率($78\ 000 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$)和电子漂移速度(10^6 m/s), 因此, InSb 在 Hall 传感器件中也有广泛的应用^[15-16]. InSb 还被用来开发高速晶体管, 并可降低功耗^[17-18]. 此外, InSb 薄膜用作具有超分辨掩膜层也具有非常大的应用潜力^[19], 其相应的超分辨光盘单层存储容量可达到 50 GB^[20-22]. 上述应用无不说明了对 InSb 相变材料的研究具有重要意义.

在电子器件的实际应用中, 器件内部不可避免地会产生热量, 器件的散热、功耗等是影响器件性能和寿命的重要因素, 而器件材料的热导率则对器件的散热和功耗有着重要的影响, 因此材料随温度变化的热导率是决定器件性能的一个关键因素, 也是检验材料是否合格的重要标准. 需要通

过实验对 InSb 相变材料热导率的温度特性进行测试,并且对其传热机理进行分析.过去几年,关于 InSb 材料的热特性有过几篇报告. Bhandari 等研究了 InSb 体材料在室温下的热导率^[23]. Cai 等研究了 InSb 体材料随温度变化的热导率^[19]. 文献中测得的 InSb 体材料的热导率数量级普遍较大,室温下为 $11 \sim 12 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ^[19]. 在上文中提到的实际应用中,无论是红外探测、信息存储还是超分辨结构掩膜层, InSb 材料通常是微米级或者纳米级的薄膜材料. 然而, InSb 薄膜材料的热导率随温度的变化关系,包括晶态和非晶态,以及在非晶态转化为晶态的相变过程中的热导率变化却鲜有报道. 本文工作旨在通过实验的方法获得晶态和非晶态 InSb 薄膜材料的热导率,尤其需要探索其随温度变化的函数关系.

1 实验原理

非晶态 InSb 薄膜,是在室温条件下使用射频磁控溅射仪,直接利用单合金靶材 InSb 在 P 型硅晶圆上进行溅射沉积得到的. 溅射过程在气压约为 $5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 的充满氩气的密闭容器中进行,溅射压强为 0.5 Pa ,溅射功率为 40 W ,其沉积速率约为 1 nm/s . 为了实验需要,准备了 70 、 95 、 155 、 180 和 200 nm 5 个厚度的样品,分别用来进行厚度相关和温度相关的实验测试. 晶态 InSb 薄膜则是在 520 K 下,在真空环境中退火处理 30 min 得到,退火前后的厚度可以视为不变.

热导率的测量是通过瞬态热反射方法来进行的^[24-25]. 该方法是一种非接触式的无损光学方法,在对材料表面进行加热的同时可以得到其表面的温度变化. 此外,样品制备和测量的实验装置都是简单易操作的,比较容易避免人为造成的实验误差.

测试系统的原理如图 1 所示,加热激光器是一种小型的脉冲激光器,其波长为 1064 nm ,脉冲宽度为 8 ns ,单脉冲能量为 50 mJ ,频率为 $1 \sim 20 \text{ Hz}$. 检测激光器是一个可发出连续激光的氦氖激光器,其波长为 632 nm ,功率为 1.8 mW . 加热激光可直射金属层表面,导致其温度增加,随着热量传导到薄膜层,其表面温度会随时间衰减,又由于金属的反射率对于其温度十分敏感,反射率

在一个较宽而有限的温度范围内与温度基本呈线性关系^[26],因此反射光强度曲线也可以反映温度的变化. 快速光探测器的信号输出到示波器,示波器连接计算机就可以进行数据的拟合与分析.

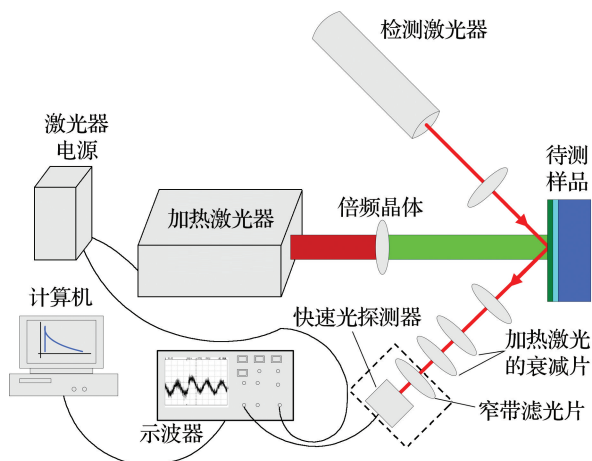


图 1 瞬态热反射装置示意图

Fig. 1 Schematic of the transient thermo-reflectance setup

在拟合模型中,利用一维热传导方程来建立热传导理论模型,其中拟合过程使用了遗传算法^[27-28]. 考虑到作为热阻层的薄膜厚度很小,可以使用双层传热模型进行拟合.

双层传热模型温度的拉普拉斯域表达式为^[24]

$$T(s) = \frac{1}{e_1 \sqrt{s}} (\arccos \mu_1 \sqrt{s} + e_{21} \arcsin \mu_1 \sqrt{s} + r_{th} e_2 \sqrt{s} \arccos \mu_1 \sqrt{s}) / (\arcsin \mu_1 \sqrt{s} + e_{21} \arccos \mu_1 \sqrt{s} + r_{th} e_2 \sqrt{s} \arcsin \mu_1 \sqrt{s}) \quad (1)$$

其中 $e_i = \sqrt{r_i c_i k_i}$, $e_{ij} = e_i / e_j$, $\mu_i = d_i \sqrt{\rho_i c_i} / \sqrt{k_i}$, $i, j = 1, 2$ 分别代表金属层和基底层. 参数 k, ρ, c 和 d 分别表示热导率、密度、比热容、薄膜的厚度. r_{th} 表示总热阻,包括样品的热阻和样品与金属、样品与基底之间的界面热阻. 假定热导率不随着薄膜厚度的变化而变化,界面热阻可以从不同厚度的样品的总热阻中利用公式 $r_{th} = d/k + r_c$ 拟合计算得到. 拉普拉斯域的温度表达式比较复杂,无法直接反变换得到时域温度信号的解析式,可以通过数值反变换方法. 本文使用 Stehfest 方法^[29-30],即

$$f(t)=\frac{\ln 2}{t}\sum_{n=1}^N A_n F\left(\frac{n \ln 2}{t}\right) \tag{2}$$

其中

$$A_n=(-1)^{n+N/2}\times \sum_{j=(n+1)/2}^{\min (n,N/2)} \frac{j^{N/2}(2j)!}{(N/2-j)! j! (j-1)! (n-j)! (2j-n)!} \tag{3}$$

式中： $F(s)$ 是关于 $f(t)$ 的拉普拉斯变换公式， j 是整数.使用室温下金属层和基底层 的密度比热容和热导率数值：金属层使用金膜，其密度比热容为 $2.49\times 10^6\text{ J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ ，热导率为 $317\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ^[24]；基底层为硅，其密度比热容为 $1.659\times 10^6\text{ J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ ，热导率为 $148\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.归一化的温度衰减曲线很直观地反映了 InSb 薄膜样品 的热扩散过程.数据拟合采用多参数优化的遗传算 法^[27-28].选取目标函数为

$$f_0=\sum_{i=1}^{N_r} (T_e(i)-T_t(i))^2 \tag{4}$$

式中： $T_e(i)$ 和 $T_t(i)$ 分别为实验和理论的标准温 度， N_r 是随时间测量记录的次数编码.优化过程 实际上就是求函数最小值的过程.

2 实验结果及讨论

图 2、3 分别展示了非晶态 InSb 薄膜归一化 后的温度随时间的变化关系以及其热阻和热导率 随厚度的变化关系.可以看出，总热阻随着厚度的 增加而线性增加.界面热阻可以通过线性拟合得到. 可以从图 3 拟合函数的截距得到非晶态的接 触热阻为 $0.140\ 8\times 10^{-7}\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.通过理 论拟合，图 3 中的热导率 $k=(0.37\pm 0.037)\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，其中 ± 0.037 为 $\pm 10\%$ 实验误差，主 要来源于样品厚度的测量.考虑到这个误差可能 的影响，在图中也绘出了 $\pm 10\%$ 误差的曲线.

图 4、5 则为晶态 InSb 薄膜归一化后的温度 随时间的变化关系及其热阻和热导率随厚度的变 化关系.其数据处理方法与非晶态 InSb 薄膜相 同，拟合得到的接触热阻为 $0.137\ 1\times 10^{-7}\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ ，热导率 $k=(0.55\pm 0.055)\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，其中 ± 0.055 同样为 $\pm 10\%$ 的实验 误差.可以看出，晶态 InSb 薄膜的热导率比非晶 态时增加了 $0.18\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.将在下文进一步分

析其中的原因和机理.

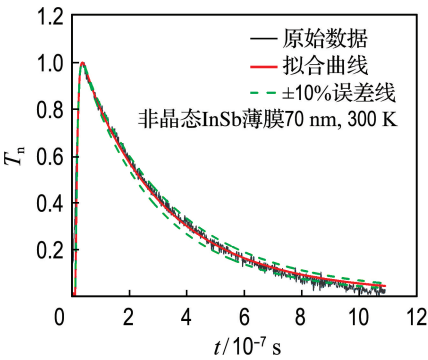


图 2 非晶态 InSb 薄膜的温度衰减曲线
Fig. 2 The temperature decay curves of the amorphous InSb thin films

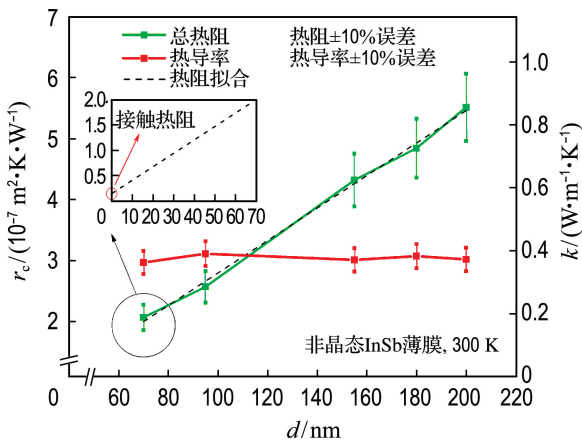


图 3 非晶态 InSb 薄膜的热阻和热导率随薄膜 厚度的变化曲线
Fig. 3 The thermal resistance and thermal conductivity curves of the amorphous InSb thin films along with the change of film thickness

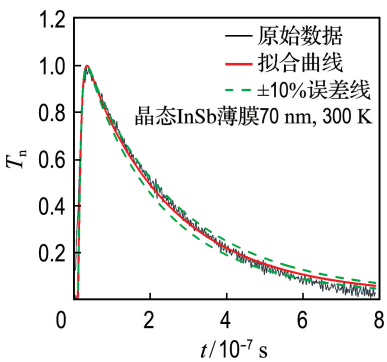


图 4 晶态 InSb 薄膜的温度衰减曲线
Fig. 4 The temperature decay curves of the crystalline InSb thin films

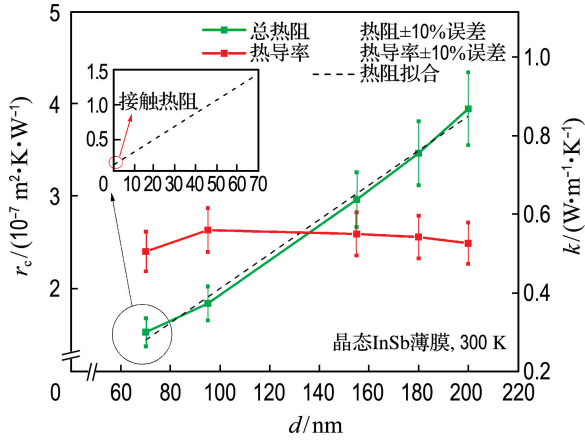


图 5 晶态 InSb 薄膜的热阻和热导率随薄膜厚度的变化曲线

Fig. 5 The thermal resistance and thermal conductivity curves of the crystalline InSb thin films along with the change of film thickness

为了研究非晶态到晶态相变过程热导率的变化,测试了 180 nm 的非晶态样品热导率随温度的变化关系.将样品固定在真空腔中,先后通过机械泵和分子泵将腔体内抽至压强小于 5×10^{-5} Pa 的类真空状态;样品固定在一个由电流控制的加热台上,即可通过控制电流的大小来对样品进行温度控制.结果如图 6 所示.可以看出,对于非晶态 InSb 薄膜,当温度低于 450 K 时,其热导率基本保持为 $0.37 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;当温度从 450 K 升高到 550 K 时,其热导率从 $0.37 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 突然升至 $0.55 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,说明此时样品已经结晶.而在温度从 550 K 到 300 K 的下降过程中,其热导率主要分布在 $0.57 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 至 $0.52 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 之间,随温度的减小略有下降.这表明非晶态 InSb 薄膜已经在控温测量过程中晶化.这个结果也可以由图 7 的 XRD 分析进一步证实.控温之前样品为非晶态,没有明显的衍射峰,而控温之后的 XRD 图出现了明显的衍射峰,说明已晶化.因此,可以认为控温测量的过程也是非晶态样品发生相变(结晶)的过程.图 6 还列出了文献[19]和[23]中测得的 InSb 体材料的热导率,可以看出,体材料与薄膜材料的热导率有很大的差异,这是薄膜材料的微观特性造成的,具体可从后续的理论分析看出.这也体现了对 InSb 薄膜热导率进行研究的重要性.

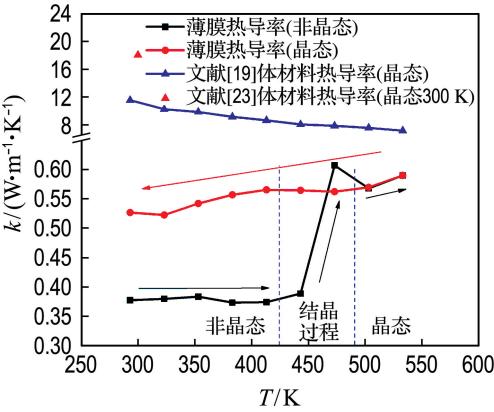


图 6 非晶态 InSb 薄膜热导率随温度的变化曲线以及文献中 InSb 体材料热导率曲线 [19,23]

Fig. 6 The temperature dependent thermal conductivity curve of the amorphous InSb thin films and the thermal conductivity curve of InSb body materials in the literatures [19,23]

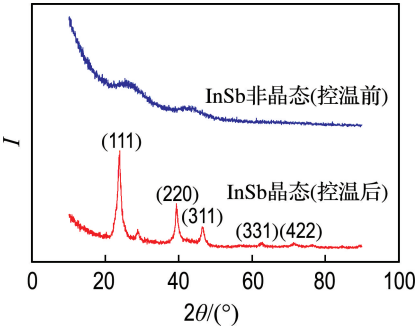


图 7 InSb 样品分别在控温前和控温后的 XRD 衍射图谱

Fig. 7 The XRD diffraction pattern of InSb samples before and after the temperature control

3 理论分析

半导体晶体的导热一般包括电子导热、声子导热和光子导热,其热导率可以表达为

$$k = k_{ph} + k_e + k_r \tag{5}$$

其中 k_{ph} 为声子热导率, k_e 为电子热导率, k_r 为光子热导率.对于纯金属而言,电子导热是主要机制;在合金和半导体中声子导热的作用逐渐增强;而在绝缘体内几乎只存在声子导热一种形式.光子导热只有在极高温下才会有较大贡献,对于本文的测试条件则可以忽略 [14].

根据 Wiedemann-Franz (W-F) 定律 [31], 金属

和半导体的电子热导率与其电导率相关. W-F 定律表示如下:

$$k_e = L T \sigma = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k_B}{e} \right)^2 \sigma T \quad (6)$$

式中: k_e 为电子热导率, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; σ 为电导率, S/m ; T 为温度; L 为 Lorentz 常数, $L = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k_B}{e} \right)^2$; k_B 为玻尔兹曼常数, 当温度大于 Debye 温度 θ_D 时, $L = 2.443 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \Omega/\text{K}^2$ ^[14]. 因此, 电子热导率与样品的电导率和温度有关.

通过四探针方法测量了晶态和非晶态样品的电阻率, 分别为 8.47×10^{-5} 和 $2.7 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$, 相应的电导率分别为 1.18×10^4 和 $37.1 \text{ S}/\text{m}$. 将电导率分别代入式(6)中可以得到晶态和非晶态样品电子热导率分别为 0.09 和 $2.72 \times 10^{-4} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. 与图 6 中的总热导率进行对比, 可以发现, 非晶态样品在 450 K 以下温度时, 其电子热导率对总热导率的贡献几乎可以忽略; 在 450 K 以上温度时, 其总热导率增加了 $0.18 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. 增加的热导率一部分由电子热导率提供 ($0.09 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$); 另外, 结晶后样品内部的晶格数增加, 声子热导率也相应增加. 至此可以认为, 在非晶态下, InSb 的热导率主要由声子导热提供, 电子热导率几乎没有贡献; 而在晶态下, 电子热导率和声子热导率均对总热导率有一定的贡献.

声子热导率主要来源于晶体内声子气体的热传导, 可以从分子动理论中获得^[32]:

$$k_{ph} = \frac{1}{3} C_V v l_{mf} \quad (7)$$

其中 C_V 、 v 和 l_{mf} 分别为体积热容、平均声子速度以及声子平均自由程. 在 $300 \sim 500 \text{ K}$, 可以假定 C_V 和 v 不随温度变化. 声子平均自由程的大小由声子与声子、电子、杂质原子和缺陷等的碰撞和散射决定. 在理想的晶体中, 高于 Debye 温度时平均声子数为^[19]

$$n(\omega) = \frac{1}{\exp(\hbar\omega/k_B T) - 1} \approx \frac{k_B T}{\hbar\omega} \quad (8)$$

声子平均自由程与声子数成反比, 而声子数与温度成正比, 于是声子平均自由程也与温度成反比, 从而声子热导率也与温度成反比, 也就是 $k_{ph} \propto 1/T$; 而由式(6)可知电子热导率与温度成正比, 也就是 $k_e \propto T$. 综合电子热导率和声子热导率与温

度的不同依赖关系, 晶态 InSb 薄膜的热导率随温度的变化应该不明显. 这与图 6 中已晶化薄膜热导率的变化趋势相吻合. 但是又发现, 虽然晶态 InSb 薄膜热导率随温度变化不明显, 但仍与温度呈微弱的正相关关系, 这可能说明电子热导率受温度影响的程度比声子热导率大. 另一方面, 由于样品为纳米尺度的薄膜, W-F 定律可能并不完全适用, 由该定律计算得到的电子热导率可能存在一定偏差, 这还有待进一步的研究.

4 结 语

采用瞬态热反射方法, 测试了厚度为 $70 \sim 200 \text{ nm}$ 的 InSb 薄膜在非晶态和晶态下的热导率. 非晶态 InSb 薄膜的热导率为 $(0.37 \pm 0.037) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 晶态 InSb 薄膜的热导率为 $(0.55 \pm 0.055) \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 它们都没有明显的厚度依赖关系. 结合电导率的测试结果和 W-F 定律可知, 当温度低于 450 K 时, 声子热导率起主导作用, 电子热导率几乎为 0; 在温度高于 450 K 时, 由于薄膜从非晶态转化为晶态, 电子热导率和声子热导率同时增加. 晶态薄膜的热导率随温度变化不明显, 则是因为电子热导率和声子热导率分别与温度呈正负相关的关系, 是二者共同作用的结果.

参考文献:

- [1] OHTA T, NISHIUCHI K, NARUMI K, *et al.* Overview and the future of phase-change optical disk technology [J]. **Japanese Journal of Applied Physics**, 2000, **39**(1):770-774.
- [2] WANG W J, SHI L P, ZHAO R, *et al.* Fastphase transitions induced by picosecond electrical pulses on phase change memory cells [J]. **Applied Physics Letters**, 2008, **93**:043121.
- [3] LENCER D, SALINGA M, WUTTIG M. Design rules for phase-change materials in data storage applications [J]. **Advanced Materials**, 2011, **23**(18):2030-2058.
- [4] WEI Jingsong, ZHANG Kui, WEI Tao, *et al.* High-speed maskless nanolithography with visible light based on photothermal localization [J]. **Scientific Reports**, 2017, **7**:43892.
- [5] LI Jianzheng, ZHENG Lirong, XI Hongzhu, *et al.*

- A study on inorganic phase-change resist $\text{Ge}_2\text{Sb}_{2(1-x)}\text{Bi}_{1-x}\text{Te}_5$ and its mechanism [J]. **Physical Chemistry Chemical Physics**, 2014, **16**(40):22281-22286.
- [6] EILERT S, LEINWANDER M, CRISENZA G. Phase change memory: a new memory enables new memory usage models [C] // **2009 IEEE International Memory Workshop**. Piscataway: IEEE, 2009:10730731.
- [7] TIAN Ximin, LI Zhiyuan. Visible-near infrared ultra-broadband polarization-independent metamaterial perfect absorber involving phase-change materials [J]. **Photonics Research**, 2016, **4**(4):146-152.
- [8] WEI Tao, WEI Jingsong, ZHANG Kui, *et al.* Image lithography in telluride suboxide thin film through controlling "virtual" bandgap [J]. **Photonics Research**, 2017, **5**(1):22-26.
- [9] WANG Qian, ROGERS E T F, GHOLIPOUR B, *et al.* Optically reconfigurable metasurfaces and photonic devices based on phase change materials [J]. **Nature Photonics**, 2016, **10**(1):60-65.
- [10] IOVU M, COLOMEICO E, BENEÀ V, *et al.* Characterization of Ge-Sb-Te phase-change memory materials [C] // **Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies 2012**. Constanta: The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2012:841103.
- [11] DERINGER V L, DRONSKOWSKI R. DFT studies of pristine hexagonal $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$ (0001), $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (0001), and $\text{Ge}_1\text{Sb}_4\text{Te}_7$ (0001) surfaces [J]. **Journal of Physical Chemistry C**, 2013, **117**(29):15075-15089.
- [12] ZHANG Xinghao, WEI Jingsong. Direct detection of the transient superresolution effect of nonlinear saturation absorption thin films [J]. **Photonics Research**, 2015, **3**(4):100-105.
- [13] WEI Tao, WEI Jingsong, ZHANG Kui, *et al.* Grayscale image recording on $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ thin films through laser-induced structural evolution [J]. **Scientific Reports**, 2017, **7**:42712.
- [14] 蔡晓林. InSb 薄膜的光学热学特性研究[D]. 上海: 中国科学院上海光学精密机械研究所, 2013.
- CAI Xiaolin. Optical and thermal characteristics of InSb semiconductor thin films [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2013. (in Chinese)
- [15] HROSTOWSKI H J, MORIN F J, GEBALLE T H, *et al.* Hall effect and conductivity of InSb [J]. **Physical Review**, 1955, **100**(6):1672-1676.
- [16] HOLLIS J E L, CHOO S C, HEASELL E L. Recombination centers in InSb [J]. **Journal of Applied Physics**, 1967, **38**(4):1626-1636.
- [17] ORR J M S, BUCKLE P D, FEARN M, *et al.* Low temperature impact ionization in indium antimonide high performance quantum well field effect transistors [J]. **Journal of Applied Physics**, 2006, **99**(8):083703.
- [18] ORR J M S, BUCKLE P D, FEARN M, *et al.* Schottky barrier transport in InSb/AlInSb quantum well field effect transistor structures [J]. **Semiconductor Science and Technology**, 2006, **21**(10):1408-1411.
- [19] CAI Xiaolin, WEI Jingsong. Temperature dependence of the thermal properties of InSb materials used in data storage [J]. **Journal of Applied Physics**, 2013, **114**(8):2078-2086.
- [20] NAKAI K, OHMAKI M, TAKESHITA N, *et al.* First playback of high-definition video contents from super-resolution near-field structure optical disc [J]. **Japanese Journal of Applied Physics**, 2010, **49**(8):08KE02.
- [21] HYOT B, OLIVIER S, ARMAND M F, *et al.* High capacity SuperRENS-ROM disc with InSb active layer [C] // **Proceedings of E\PCOS 2009**. Aachen: European Phase Change and Ovonic Symposium, 2009.
- [22] HYOT B, Biquard X, LAULAGNET F. Super-resolution ROM disc with a semi-conductive InSb active layer [C] // **Proceedings of E\PCOS 2007**. Zermatt: European Phase Change and Ovonic Symposium, 2007.
- [23] BHANDARI C M, VERMA G S. Role of longitudinal and transverse phonons in lattice thermal conductivity of GaAs and InSb [J]. **Physical Review**, 1968, **176**(3):1112.
- [24] BAI Suyuan, TANG Zhenan, HUANG Zhengxing, *et al.* Thermal characterization of Si_3N_4 thin films using transient thermoreflectance technique [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2009,

56(8):3238-3243.

[25] KADING O W, SKURK H, GOODSON K E. Thermal conduction in metallized silicon-dioxide layers on silicon [J]. **Applied Physics Letters**, 1994, 65(13):1629-1631.

[26] UJIHARA K. Reflectivity of metals at high temperatures [J]. **Journal of Applied Physics**, 1972, 43(5):2376-2383.

[27] MAN K F, TANG K S, KWONG S. Genetic algorithms:concepts and applications in engineering design [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 1996, 43(5):519-534.

[28] 王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2002.

WANG Xiaoping, CAO Liming. **Genetic Algorithm: Theory, Application and Software Implementation** [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press Co., LTD, 2002. (in Chinese)

[29] STEHFEST H. Remark on algorithm 368: Numerical inversion of Laplace transforms [J]. **Communications of the ACM**, 1970, 13(10):624.

[30] STEHFEST H. Algorithm 368: Numerical inversion of Laplace transforms [D5] [J]. **Communications of the ACM**, 1970, 13(1):47-49.

[31] TRITT T M. **Thermal Conductivity: Theory, Properties and Applications** [M]. New York: Springer, 2004.

[32] KITTEL C. Introduction to solid state physics (A. Klemm) [J]. **Zeitschrift Naturforschung Teil A**, 1954, 9:372.

Temperature dependent thermal conductivity
of InSb thin film and heat transfer mechanism

HUANG Zhengxing^{*1,2}, SUN Hao^{1,2}, LI Qisong³, GUAN Xiangyu^{1,2}

(1. Faculty of Electronic Information and Electrical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Key Laboratory of Liaoning for Integrated Circuits Technology, Dalian 116024, China;
3. Laboratory for High Density Optical Storage, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract: The InSb thin film is widely used in high precision photoelectric storage, infrared detection, infrared thermal imaging technology and super resolution layer mask technology. Thermal conductivity and its temperature dependent characteristic are the key factors for the film application. The thermal conductivity of InSb thin film under amorphous and crystalline states with thickness of 70-200 nm is tested based on the transient thermal reflection method. And the heat transport mechanism is discussed. For crystalline InSb thin film, its thermal conductivity is (0.55 ± 0.055) W/(m • K), and the value is hardly changed with the change of temperature; and for amorphous InSb thin film, its thermal conductivity is (0.37 ± 0.037) W/(m • K) when the temperature is below 450 K. While when the temperature is above 450 K, due to the changes from amorphous into crystalline, the thermal conductivity has experienced a sudden rise. Neither crystalline nor amorphous thin film samples, their thermal conductivities change with the change of the sample thickness. This work can provide a beneficial reference for the practical application of InSb thin film.

Key words: InSb thin film; crystalline and amorphous; thermal conductivity; temperature dependent characteristic