

# 碲镉汞衬底上沉积类金刚石薄膜的界面分析

1,2) 居建华<sup>1)</sup> 夏义本<sup>1)</sup> 桑文斌<sup>1)</sup> 王林军<sup>1)</sup> 吴汶海<sup>1)</sup> 汤定元<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>上海大学材料科学与工程学院, 上海, 201800;

<sup>2)</sup>中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家开放实验室, 上海, 200083)

**摘要** 采用等离子增强化学气相法(PECVD)在碲镉汞(MCT)衬底上沉积纳米颗粒的类金刚石薄膜(DLC), 对 DLC/MCT 界面进行了俄歇电子能谱(AES)分析, 并与离子溅射法(IS)沉积的 ZnS/MCT 界面比较, 结果表明 DLC 和 ZnS 薄膜都能较好地抑制 MCT 中 HgTe 的分解, 在一定程度上阻挡了 MCT 中 Hg 的外扩散. 相对于 ZnS 中的 S 而言, DLC 的 C 在 MCT 中的内扩散深度较小(前者为 400Å, 而后者仅为 200Å). 红外透射光谱结果表明 DLC 膜比 ZnS 膜具有更好的抗反射效果.

**关键词** 类金刚石, 薄膜, 红外, 界面.

## INTERFACE ANALYSIS OF DLC FILM DEPOSITED ON Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te

1,2) JU Jian-Hua<sup>1)</sup> XIA Yi-Ben<sup>1)</sup> SANG Wen-Bin<sup>1)</sup> WANG Lin-Jun<sup>1)</sup>  
<sup>1)</sup> WU Wen-Hai<sup>1)</sup> TANG Ding-Yan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai, 201800, China;

<sup>2)</sup>National Lab for Infrared Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** A dense and homogeneous nanograins diamond-like carbon(DLC) film was deposited on the well-polished HgCdTe wafer by radio frequency plasma chemical vapor deposition at room temperature. The interface of DLC/HgCdTe was studied by AES and compared with that of ZnS/HgCdTe, which was prepared by ion sputtering(IS). The result shows that both DLC film and ZnS film can suppress the dissociation of the weak bonding HgTe, and prevent Hg escaping from MCT surface to some extent. However, both Zn and S in ZnS layer tend to diffuse inward MCT, while diffusion of C from DLC layer into MCT is rather slight. In particular, IR transmission of MCT deposited with DLC is remarkable raised comparing to the naked surface and higher than that of MCT deposited with ZnS.

**Keyword** Diamond like carbon, film, infrared, interfaces.

### 引言

类金刚石薄膜是一种具有高硬度、高电绝缘性和高化学稳定性的优质材料,尤其在可见光和红外光波段具有良好的透明性,加上具有适当的光折射率(1.8~2.2),可作为光电器件的抗反射膜<sup>[1]</sup>、红外器件的窗口和前罩材料<sup>[2,3]</sup>. 由于红外光学器件中常用的碲镉汞(MCT)材料的化学稳定性和机械性能较差<sup>[4]</sup>,对 MCT 表面进行钝化处理,以适应 MCT 材料在 MIS 光电容、光二极管和光电导阵列器件中的应用<sup>[5]</sup>,将成为十分重要的研究课题. 阳极氧化是目前较常用的钝化技术<sup>[6]</sup>,但它会引起

MCT 表面组分和价键状态的变化,影响 MCT 的表面光电性能. 物理钝化技术可以克服这类缺陷. 本文中报道了 DLC 膜作为 MCT 钝化膜的界面特性研究结果,并与 ZnS 钝化膜的界面进行了比较.

### 1 实验

实验用 MCT 衬底是厚度为 1mm 的 n 型晶片,其 Hg 百分含量为 0.2,载流子浓度为  $10^{16} \text{cm}^{-3}$ . 晶片先用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 精细粉体研磨,再用 80nm SiO<sub>2</sub> 微粒和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液抛光,抛光液 pH 值控制在 7.0~7.2 之间,抛光后用 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>COH 和去离子水洗净,烘干后待用.

DLC 膜的生成采用射频等离子增强化学气相沉

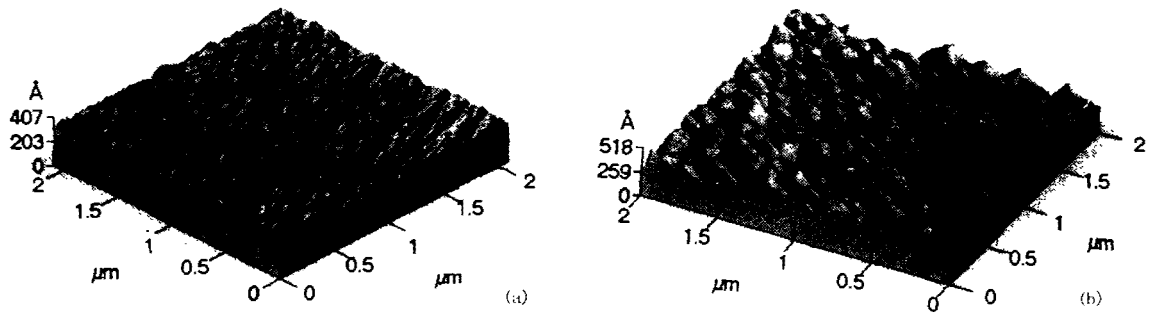


图1 原子力显微镜表面形貌图,(a)抛光的MCT表面,(b)沉积DLC膜的MCT表面

Fig.1 AFM topographies of the samples, (a)polished MCT wafer, (b)DLC coated MCT

积法(PECVD),由Ar气携带 $\text{CH}_4$ 在MCT衬底上沉积,反应室压力为2Pa,衬底温度采用水冷的方法控制在室温附近,DLC膜的厚度通过沉积时间控制.MCT衬底和DLC膜的表面形貌由AFM测量<sup>[7]</sup>,DLC膜的结构和组成可用拉曼散射光谱表征.

实验中,采用由离子溅射法沉积在MCT衬底上的ZnS膜为参比膜.为了便于比较,采用掩膜的方法,在同一片MCT衬底晶片上一半沉积DLC膜,另一半沉积ZnS膜.薄膜和衬底的界面元素分布采用 $\text{Ar}^+$ 离子刻蚀法逐层测量其俄歇电子能谱(AES)获得.实验中DLC膜的 $\text{Ar}^+$ 离子刻蚀速度为 $100\text{Å}/\text{min}$ ,ZnS膜的刻蚀速度为 $400\text{Å}/\text{min}$ .

## 2 结果与讨论

图1给出了抛光后MCT晶片和沉积了DLC膜后MCT晶片的AFM表面形貌图片.由图1(a)可见,表面抛光的MCT衬底表面粗糙度约为10nm;由图1(b)可见,在光洁的晶片表面,采用PECVD法可在室温附近沉积出颗粒度为200nm结构致密的类金刚石薄膜.

图2的拉曼散射光谱给出了DLC膜典型的非晶态结构谱线.图2中波数为 $1580\text{cm}^{-1}$ 的G峰和

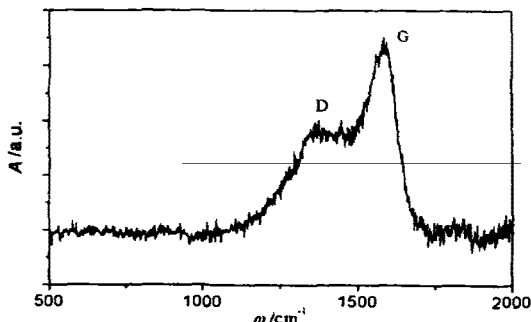


图2 碲镉汞衬底上类金刚石薄膜的拉曼光谱

Fig.2 Raman spectra of DLC film deposited on MCT

在 $1360\text{cm}^{-1}$ 附近的D峰峰肩表明所测薄膜是由 $\text{sp}^2$ 和 $\text{sp}^3$ 碳键构成的非晶含氢碳膜,即类金刚石薄膜(DLC).表1给出了DLC膜的一些其它参数,例如:硬度为 $2000\text{kg}/\text{cm}^2$ ,比MCT衬底的硬度 $30\sim 40\text{kg}/\text{mm}^2$ 和ZnS的硬度(一般小于 $100\text{kg}/\text{mm}^2$ )大得多,电阻率高达 $1012\Omega\text{cm}$ ,适合做钝化膜,折射率为 $1.8\sim 2.0$ ;介电常数约为6.5.这些参数表明,DLC膜是一种很好的抗反射膜.

图3是用 $\text{Ar}^+$ 离子刻蚀俄歇电子能谱测量得到的DLC膜和ZnS膜与MCT衬底间界面附近元素分布曲线.其中(a)是DLC/MCT界面的情况,由(a)可见,DLC膜厚度约为 $950\text{Å}$ .比较界面处薄膜中Hg和Te的含量可知,DLC膜和ZnS膜都较好地抑制了衬底MCT中HgTe的分解和外扩散.可是,在MCT衬底近ZnS膜的界面处可以看到Zn和S的存在,尤其是S的内扩散深度可达 $400\text{Å}$ ;而DLC/MCT界面处MCT中C的内扩散深度仅为 $200\text{Å}$ ,如图3(c)所示.相对ZnS膜而言,DLC膜对MCT表面区域的影响较小.此外,如图3(b)所示,ZnS膜中还测量到一定量的氧,这表明ZnS膜在空气中放置一段时间后,会发生水解反应.

图4给出了沉积薄膜前后样品的傅立叶红外透射光谱,其中(a)是原始MCT晶片和沉积了厚度为 $1.4\mu\text{m}$ DLC膜的MCT样品红外透射光谱的对比,其结果表明:MCT衬底上沉积DLC膜后,在波长 $7\sim 20\mu\text{m}$ 的范围内,MCT的红外透过特性有了明显

表1 类金刚石薄膜的主要物理参数

Table 1 physical properties of DLC film coating on MCT

物理参数	典型数据 <sup>[8]</sup>	实验数据
显微硬度( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )	900 - 3000	1000 - 2500
密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.8 - 2.1	~2.0
折射率	1.8 - 2.2	1.8 - 2.1
电阻率( $\Omega\text{cm}$ )	1010 - 1013	>1012
介电常数		6.5

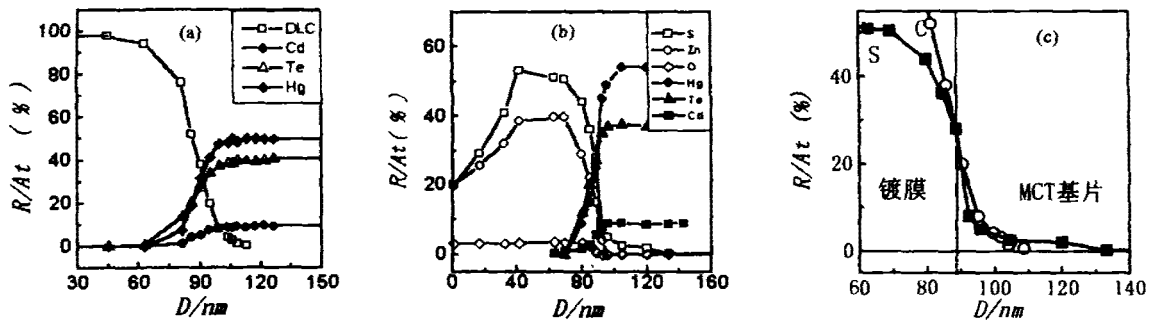


图3 由俄歇电子能谱得到的界面组分随刻蚀深度变化的分布图

(a)DLC/MCT界面(Ar<sup>+</sup>离子刻蚀速度为100Å/min), (b)ZnS/MCT界面(刻蚀速度为400Å/min), (c)界面处MCT中C和S的内扩散深度的比较

Fig.3 The composition profiles obtained by AES: (a)for DLC/MCT with an Ar<sup>+</sup> ion peeling speed of about 100Å/min, (b)for ZnS/MCT interfaces with 400Å/min peeling speed, and (c)Comparison of Carbon(circles)and Sulfur(square)plunging in MCT

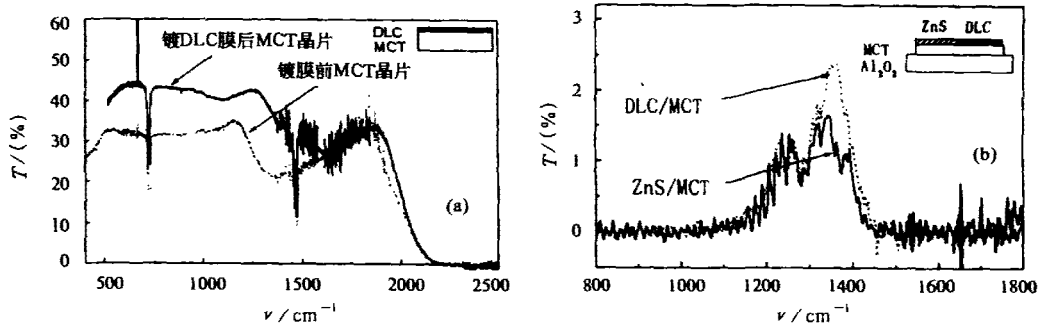


图4 沉积薄膜前后MCT的傅立叶红外光谱, (a)沉积DLC前后, (b)沉积ZnS膜后和沉积DLC膜后

Fig.4 FTIR transmission spectra

(a)for MCT wafer and DLC coating MCT wafer, respectively, (b)for DLC/MCT and ZnS/MCT

的提高,最大增透率可达到32%。图4(b)是同一片MCT晶片上,用掩膜法分别沉积DLC膜的ZnS膜后两者的红外透射光谱,比较这2条曲线可知,DLC膜比ZnS膜具有更好的红外抗反射效果。

### 3 结语

抛光MCT衬底上采用PECVD法沉积的类金刚石薄膜是由尺度为200nm的均匀致密的非晶含氢碳颗粒组成,与ZnS膜相比,DLC膜对MCT衬底中HgTe的分解和外扩散具有较好的抑制作用。DLC膜中的C在MCT衬底中的内扩散距离较短,对MCT表面区域光电性能的影响较小。红外透射光谱测量结果也表明,相对ZnS膜而言,DLC膜对MCT衬底具有更好的抗反射效果。

### REFERENCE

[1]JU Jian-Hua, XIA Yi-Ben. Visible transparency of diamondlike films and its application on the solar cells. *Acta Energiae Solaris Sinica* (居建华,夏义本.类金刚石薄膜

可见光增透效应在太阳能电池上的应用. *太阳能学报*) 1992, **13**:276

[2]Holland L, Ojha SM. The growth of carbon films with random atomic structure from ion impact damage in a hydrocarbon plasma. *Thin Solid Films*, 1979, **58**:107  
 [3]Mckinley JM, Richardson KA, Hagedorn FB, et al. Characterization of candidate bonding glasses for composite IR window structure. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng (USA)*, 1995, **2554**:213  
 [4]Harris DC. Frontiers in infrared window and dome materials. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. (USA)*, 1995, **2252**:325  
 [5]Nemirovsky Y. Passivation with II-V compounds. *J. Vac. Sci. Technol*, 1990, **A8**(2):1185  
 [6]Jung JW, Lee HC, Wang JS. A study on the double insulating layer for HgCdTe MIS structure. *Thin Solid Films*, 1996, **290-291**:18  
 [7]Howland R, Benatar LA. *Practical Guide to Scanning Probe Microscopy*, edited by Park Scientific Instruments, CF, 1996  
 [8]Angus JC, Hayman CC. Low-pressure metastable growth of diamond and diamondlike phases. *Science (USA)*, 1988, **214**:913