

扫描声学显微镜对固体材料表面非均性的研究*

Non-homogeneity Study on Solid Surface
with Scanning Acoustic Microscope

张送根 (中国科学院电子学研究所)

列文 马斯洛夫 (俄罗斯科学院声学显微中心)

Zhang Songen (Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences)

V. M. Levin K. I. Maslov (Center of Acoustic Microscopy, Russian Academy of Sciences)

[摘要] 反射式声学显微镜的输出信号主要由近轴声波的反射信号以及声表面弹性波的漏波信号组成。其中漏波信号是否存在, 决定于瑞利角 θ_R 是否落在声学透镜的孔径张角 θ_m 以内。本文在此基础上, 设计了一种带有声阑的声学透镜, 利用声表面弹性波对固体材料表面的非均性进行了研究, 获得了材料表面微弱梯度非均性的分布图象。

关键词 声学显微镜 声阑 表面弹性波 非均性

[Abstract] The scanning acoustic microscope (SAM) in the reflection mode has proved to be a rather simple and direct means for monitoring the elastic properties of a solid surface. The output of SAM consists of the reflected sound wave of paraxial beams and leaky surface elastic wave, which is sensitive to the change of surface elastic properties. The generation of leaky wave depends on relative values of Rayleigh angle θ_R and angular aperture θ_m . In this paper, a special acoustic lens with diaphragms has been used to study the non-homogeneity of a solid surface, the images of surface non-homogeneity distribution have been obtained.

Keywords acoustic microscope diaphragms leaky wave non-homogeneity

1 引言

在各种工艺条件下 (例如在烧结过程中) 所获得的固体材料总会存在一定的非均性, 而材料表面的非均性程度是评价材料质量和工艺水平的有力依据, 所以材料的非均匀程度及其形成机理乃是材料研究的一个重要内容。对材料表面微弱梯度非均性分布的观察同对气孔、划痕和小颗粒掺杂物的观察相比, 要求具有足够细腻的观测手段。本文描述了一种简单的方法, 利用形成反射式扫描声学显微镜输出信号中的表面弹性波来评价固体材料的表面质量。

2 实验设备和原理

所用实验仪器为俄罗斯科学院研制的反射式宽带脉冲声学显微镜^[1], 其工作频率15~100MHz, 用水

作耦合介质。

反射式声学显微镜形成声学图象的输出信号主要由两部分组成: 从样品表面反射回来的近轴声波, 形成了很强的图象底色; 入射声波在样品表面激起的声表面波 (也叫瑞利波), 瑞利波在沿样品表面传播的同时也向水中“漏”泄, 这种漏波对样品表面的声学特性 (也就是力学特性) 变化最为敏感。为了研究材料表面力学特性的微梯度分布情况, 设计了一种只对瑞利波辐射敏感的声学聚焦系统。

图1为这种声学聚焦系统的示意图。在普通的球形声学透镜中, 加入可移动的内部和外部声阑。内部声阑用来遮拦从样品表面反射回来的近轴声波, 使瑞利波在形成声学图象中的作用得到加强。外部声阑用来改变声学透镜的孔径张角 θ_m 。

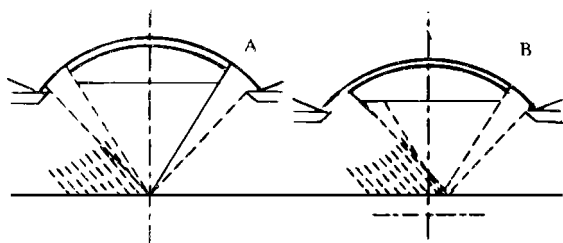


图1 聚焦系统几何示意图

Fig. 1 Geometry of the focussing system

材料表面力学特性的变化体现为瑞利波速度局域值的变化。瑞利角 θ_R 是否落在声学透镜的孔径张角 θ_m 以内, 对声学显微镜输出信号的形成将产生完全不同的影响。如果 $\theta_R > \theta_m$, 那么声表面弹性波的漏波不会出现, 输出信号将由镜面反射声波形成。当样品表面位于声学透镜的焦平面之上时, 输出信号最大; 当声学透镜聚焦于样品内部时, 输出信号将减弱。如果瑞利角落在声学透镜的孔径张角以内即 $\theta_R < \theta_m$, 那么漏泄的声表面波将带走入射声波中很大的一部分能量。当样品表面位于声学透镜焦平面之上时, 入射声波中仅有少部分能量的波束发生镜面反射, 形成输出信号; 当声学透镜聚焦于样

品内部时, 声表面波将沿瑞利角方向向水中辐射, 带有大部分能量的漏波被声学透镜所接收, 声学显微镜的输出信号将得到加强。

为了观察瑞利波速度沿样品表面的微梯度分布情况, 借助于图1所示的声学透镜可移动外部声阑选择孔径张角值, 使其接近沿样品表面平均的瑞利波速度值所确定的瑞利角值。透镜的外部声阑起到了声学刀的作用, 将样品表面上声表面波速度小于 $\bar{C}_R = C / \sin \theta_m$ 的那些区域予以消除。实验在两种情况下进行, 样品表面位于声学透镜焦平面之上和焦平面移入样品内部。在这两种情况下, 应该得到两幅具有相反对比度的声学图象。

3 实验方法和结果

实验以中国科技大学制备的 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (刚玉) 陶瓷为样品, 研究其力学特性的非均性程度。样品为直径3cm 厚约1mm 的圆形垫片。声学显微镜工作频率50MHz, 声学透镜由曲率半径2.5mm 的熔石英制成。内部声阑直径2.5mm, 外部声阑直径3.2mm。在这种情况下, 声学透镜的孔径张角等于 31° ; 近似于瑞利角。瑞利角可通过 $V(z)$ 曲线法^[2] 在样品上测量瑞利波速度、再根据平均值 $\bar{C}_R = 3.1\text{km/s}$ 确定。



图2 刚玉陶瓷样品表面的声学图象

a. 普通透镜下获得的声学图象;

b. 样品表面位于透镜焦平面上时用带声阑透镜下获得的声学图象, 图中黑色部分为 C_R 值较大的样品区域;

c. 透镜焦平面向样品内部下移0.5mm 时用带声阑透镜下获得的声学图象, 图中黑色部分为 C_R 值较小的样品区域。

Fig. 2 Acoustical images showing non-homogeneity on the surface of a ceramics sample

首先用不带声阑的普通声学透镜研究样品的表面情况。在所获得的声学图象中(图2a), 垫片的表面看起来足够均匀, 这是因为在反射的近轴波束的强信号背景下, 瑞利角变化引起的信号改变显得不够明显。使用带

声阑的透镜获得的声学图象(图b, c)则明显地显示出从样品中心到边缘弹性特性的非均性分布情况。样品表面位于透镜的焦平面时, 声学图象中(图2b)的黑色

(下转封三)

(上接第41页)

部分对应于 C_R 值较大的样品区域,因为正是在这些点,入射的部分能量未被反射,而是被漏波带走,重新向液体中辐射,但由于声学接收系统的线性特性,这种辐射没有被接收系统所记录。在样品的中心有一块明亮的区域,这里 $C_R < C / \sin_m$ (C 为声波在水中的传播速度),瑞利角位于透镜的孔径张角以内。

移动透镜使焦平面位于样品内部0.5mm 深时,可观测到与前述情况的对比度相反的声学图象 (图2c),完全验证了我们在第2节中所进行的理论分析。

仅仅通过所获得的数据来确定样品沿径向声学特性的变化机理还是不够的,因为样品边缘地区 C_R 的增大,可能是由于样品弹性模量的改变或陶瓷密度变化所致。陶瓷是多气孔性材料,这两种情况都可能存在。

实验过程中还发现了使用带声阑透镜所得图象的另一优势,即借助瑞利波样品中微凸起和微掺杂物的高度灵敏性,可使图象的对比度显著提高。在所获得的声

学图象中,除了发现样品声学特性的大幅度变化外,还可以观察到样品表面和亚表面层的细微结构。

参考文献

1 Maslov K.I. Acoustic scanning microscope for investigation of subsurface defects. Proc. of 19th Inter. Sump. on Acoustical Imaging, 1992, V. 19: 645 ~ 649

2 Weglein R.D., Wilson R.G. Characteristic material signatures by acoustic microscopy. Electron. Letters, 1978, 14 (12): 352 ~ 354

国家教委留学回国人员基金会支持项目

稿件收到日期: 1997. 3. 14.

张送根,男,1967年生,1996年从俄罗斯科学院获博士学位归来,现在中国科学院电子所从事微波电子学的研究工作。
联系地址:北京市2652信箱3室 (邮编100080)。