

基于开尔文探针力显微镜的绝缘体表面电荷测量

蔡建华 徐学峰

(北京林业大学工学院 100083)

摘要: 摩擦起电是日常生活中很普遍的一个物理现象,指两种材料发生接触分离或者相对滑动时电荷在材料之间的转移。多数情况下,摩擦起电是电子在材料间功函数差驱动下发生转移导致的。这种现象通常会对生产生活产生有害影响,每年由于摩擦起电导致的经济损失高达几十亿美元。但摩擦起电在静电复印、静电分选等领域也得到了广泛应用。近年来,人们基于摩擦起电原理和静电感应研制出摩擦纳米发电机,从而将机械能转化为电能。相较于导体材料,绝缘体在摩擦起电时更容易积聚电荷,会引起更大的经济损失,但也会带来更大的利用价值。同时,作为一种常见的微观观测手段,通过 AFM 和 KPFM 可以获得木材纳米和亚纳米尺度的高分辨图谱,有助于木材微观结构的理解。因此,对绝缘体间摩擦起电规律及机制的研究就显得尤为重要,而绝缘体表面电荷密度的精确测量技术也成为摩擦起电研究的必要手段。

KPFM 是通过测量探针在接触电势差作用下的振动来测量表面电势的,通常用于测量导体、半导体的功函数。当 KPFM 被用于测量绝缘体表面电势时,由于接触电势差存在于探针与金属样品盘之间且绝缘体样品表面也会积聚电荷,会造成测量结果的偏移。

为了深入研究 KPFM 测量中,绝缘体表面电荷密度与表面电势测量值之间的关系,本文将基于 KPFM 测量原理,建立带有电介质的平行板电容器模型,通过分析上极板受到的电场力及在电场力作用下发生的振动,得到绝缘体表面电荷密度与表面电势测量值之间的理论关系式。并使用 COMSOL 建立关于振动探针-绝缘体-导电基底的机电耦合模型,通过仿真探针在不同偏压下的振动,得到表面电势测量值,并分析了绝缘体表面电荷密度与表面电势测量值的关系。最后,对测量过程中起电区域、探针高度等因素对测量结果的影响进行研究,仿真并拟合带有摩擦区域时绝缘体表面电势的测量值。