

文章编号: 1007-4627(2005)01-0145-03

抗金属污染的超绝缘材料研究

刘存兄, 倪邦发, 田伟之, 张兰芝, 张桂英, 黄东辉, 王平生, 刘立坤
(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘要: 使用串列加速器产生的 ^{32}S 离子对不同厚度的聚碳酸酯、聚脂膜进行了不同密度的辐照, 并在不同温度、不同碱度和不同蚀刻时间条件下, 研究了蚀刻对孔形状、孔径以及膜表面损耗等的影响. 通过表面金属镀膜的方式研究了该膜的抗金属污染的绝缘性能. 结果显示, 其抗金属污染的绝缘性能得到了大幅度提高.

关键词: 核径迹; 超绝缘材料; 抗金属污染

中图分类号: TL99 **文献标识码:** A

1 前言

绝缘材料表面在受到导电材料污染时, 其绝缘性能就会受到影响, 甚至被完全破坏. 比如金属粒子通过蒸发或溅射到绝缘体的表面时, 它的绝缘性能就会显著下降, 从而达不到绝缘效果. 常规的解决办法是将绝缘体表面制成波纹形状以增大表面积, 然而用这种增大表面积方法往往达不到理想的效果, 而且制作起来十分麻烦. 采用重离子照射和蚀刻技术处理绝缘材料表面, 从而产生 $\mu\text{m}/\text{nm}$ 孔, 其抗金属污染的绝缘性能就能得到大幅度提高.

2 实验过程和方法

2.1 辐照试验

分别选用厚度为 19, 50 和 75 μm 的聚碳酸酯膜(PC)和聚酯(PET), 在串列加速器上用能量为 140—160 MeV, 流强 10—50 nA 的重离子 ^{32}S 进行辐照. 为了获得分布均匀的高密度重离子径迹, 本工作在辐照靶窗的前面安装了一个 $\phi 26\text{ cm}$ 的不锈钢筒, 将聚脂膜固定在钢筒的外表面, 使用变速马达带动不锈钢筒按一定的速度作匀速转动, 从而获得密度为 10^9 , 10^8 和 10^7 的径迹膜.

2.2 蚀刻实验

由于高能重离子在穿过聚脂膜时, 部分能量沉积在膜上, 损坏了分子/原子间的化学键, 而形成

潜径迹. 该径迹在一定的温度和碱度条件下被腐蚀成孔或蚀坑. 由于处理条件不同, 所获得的径迹孔的大小、形状是有区别的. 通常蚀刻的适宜温度在 55—70 $^{\circ}\text{C}$ 之间. 如果使用紫外灯照射经重离子辐照后的膜, 潜径迹中的辐射分解产物在含氧的气氛中发生光致氧化作用, 使得潜径迹被加深和扩展, 其效应相当于用更重的离子照射. 所以在蚀刻处理前先用紫外灯照射样品更有利于后期处理. 本工作对辐照过的样品首先用 350 nm 的紫外灯照射 2—2.5 h, 再进行蚀刻处理.

同一辐照密度, 在相同的碱液浓度和温度下, 当蚀刻时间不同时, 样品表面的径迹孔结构也有所不同. 图 1 表明, 蚀刻时间直接影响着径迹的孔径和深度, 而此两者又与绝缘体表面的抗金属污染的能力直接相关. 所以关键是要选择合适的蚀刻条件, 即温度、浓度和时间.

在相同的 NaOH 溶液浓度和温度下, 不同辐照密度的样品表面损失程度也不一样. 如图 2 所示, 辐照密度越高, 表面损失率越大. 密度为 10^7 膜表面损失随蚀刻时间变化缓慢, 而 10^8 和 10^9 膜的表面损失在蚀刻时间 50 min 前变化较快, 然后变化缓慢.

2.3 抗金属污染的绝缘性能研究

为了检验辐照蚀刻处理后的样品所具有的抗金属污染的绝缘性能, 我们采用离子蒸发的方法在径迹密度分别为每平方厘米 10^9 , 10^8 和 10^7 样品上镀

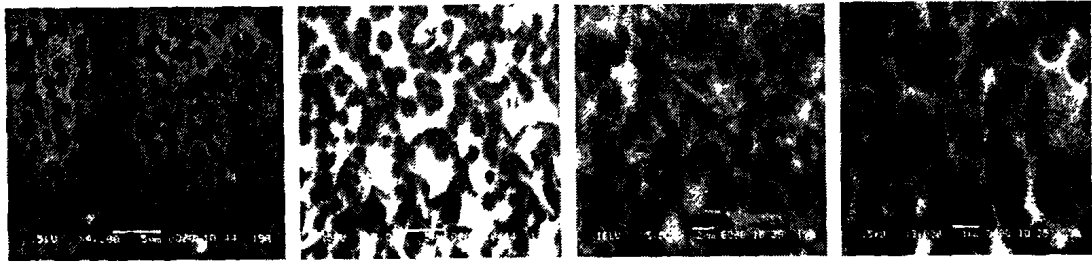


图 1 相同辐照密度的径迹膜在不同蚀刻时间的扫描电镜图比较
蚀刻时间分别为 18, 27, 42 和 90 min.

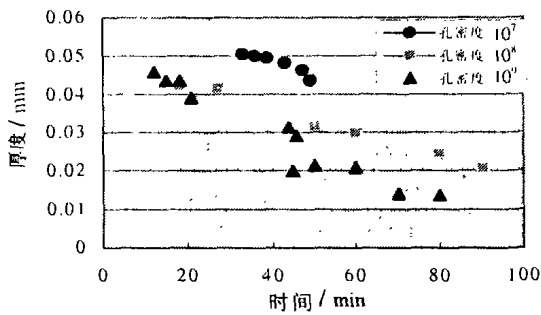


图 2 膜蚀刻损耗与辐照密度的关系

不同厚度的银和钛，其镀层厚度为 0.1—0.5 μm 。同时对未经处理的聚脂膜表面镀银厚度约为 0.06 μm 。其数据列于表 1。

2.4 电阻测量

本工作采用普通欧姆表和 ZC-8, 5 000 V 的欧

姆表，分别在 1 000 和 5 000 V 的电压下，测定了所有前面提到的膜样品材料的电阻(两点之间的距离约为 1 cm)。电阻测量结果列于表 1。从表 1 数据可以得到如下一些信息：(1) 未经任何处理的原聚酯膜，重离子辐照后的膜和经过蚀刻后的膜材料的电阻是无穷大；(2) 未辐照的膜镀银 60 nm 后就已成为导体，而经辐照蚀刻处理过的膜镀银不大于 144 nm 时，即使在 5 000 V 的电压下电阻仍大于 10^{11} ；(3) 辐照蚀刻处理过的样品，其绝缘性能与金属镀层厚度密切相关。镀银的厚度达到 400 nm 时绝缘性能已消失。

表 1 中所测样品的辐照密度都为 10^8 ，密度为 10^9 和 10^7 的样品镀银 144 nm，在 1 000 V 下都已导通。所以 70 $^{\circ}\text{C}$ ，6.0N 的 NaOH 溶液适合蚀刻 10^8 的样品。

表 1 样品电阻的测量结果

名称	未辐照的膜		辐照	辐照 + 蚀刻						Ω
	未处理	60 nmAg		镀 Ag 厚度						
			0	100 nm	144 nm	200 nm	300 nm	400 nm	500 nm	
普通欧姆表	$>10^8$	0	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$	$>10^8$
1 000 V	$>10^{11}$	0	$>10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{11}$	0	0
5 000 V	$>10^{11}$	0	$>10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{11}$	$>10^{11}$	0	0	0	0

3 结果和讨论

从以上结果可以看出，经过重离子辐照和蚀刻处理后的绝缘膜在抗金属污染能力方面有了显著的提高。径迹密度 10^8 、蚀刻时间 42 min、镀银厚度 144 nm 的膜，在 5 000 V 的高压下，其电阻仍大于 10^{11} Ω 。但仍然有一些问题值得注意。比如辐照均匀性，我们在试验中发现，当两电极相距很近时，

其电阻在某些实验点就会减小，这可能是由于均匀引起的问题。还有一种情况也会影响绝缘体抗金属污染的性能，如蚀刻孔径，本工作使用的是孔径为 2—3 μm 的膜。同时，蚀刻孔的形状也是会影响它的绝缘性能。一般来说，柱型孔和条形孔的抗金属污染能力好于锥形孔。

致谢 本工作在样品辐照过程中得到北京串列加速

器国家实验室的大力支持, 许国基研究员在金属镀膜过程中提供了大力协助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献:

- [1] Apel P. *Radiation Measurements*, 2001, **34**: 559.
[2] Luck H B, Gemende B, Heinrich B. *Nucl Tracks Radiat Meas*, 1991, **19**(1—4): 189.
[3] Kuznetsov V I, Didyk A Yu, Apel P Yu. *Nucl Tracks Radiat Meas*, 1991, **19**(1—4): 919.
[4] Spiller E, Haller I, Feder R, *et al.* *Applied Optics*, 1980, **19**(17): 1.
[5] Fischer B E, Albrecht D, Spohr R. *Radiation Effects*, 1982, **65**: 143.

Study on Super-insulating Material for Anti-metallic Contamination

LIU Cun-xiong, NI Bang-fa, TIAN Wei-zhi, ZHANG Lan-zhi, ZHANG Gui-ying,
HUANG Dong-hui, WANG Ping-sheng, LIU Li-kun
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract: Polyester and polycarbonate membranes with different thickness were bombarded by the heavy particle, ^{32}S , delivered by the tandem accelerator of China Institute of Atomic Energy. Then the bombarded membranes were etched at different conditions, such as etching time, concentration of sodium hydroxide solution and temperature. The effect of etching for the porous shape, diameter size and membrane surface losing were also investigated at present work. The insulating capability of anti-metallic contamination of treated membranes were evaluated by using silver coatings. The results indicate that the insulating capability of anti-metallic contamination is greatly improved.

Key words: nuclear track; super-insulating material; anti-metallic contamination