

印刷电路板线性离子阱质谱仪

李晓旭^{1,2}, 蒋公羽¹, 罗婵¹, 杨鹏¹, 汪源源², 丁传凡¹

(1. 复旦大学化学系, 上海 200433; 2. 复旦大学电子工程系, 上海 200433)

Printed Circuit Board-based Linear Ion Trap Mass Spectrometer

LI Xiao-xu^{1,2}, JIANG Gong-yu¹, LUO Chan¹, YANG Peng¹, WANG Yuan-yuan², DING Chuan-fan¹

(1. Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433, China;

2. Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: A novel method of constructing an ion trap mass analyzer is proposed and built based on normal printed circuit board (PCB) fabrication technology. The PCB ion trap, consists of only four 10×40 mm PCB electrodes and two metallic electrodes, has a simple structure and very low cost. The preliminary experiments shown that the PCB ion trap has a mass resolution in excess of 400 and higher than 1 000 Thomson mass range.

Key words: ion trap; printed circuit board (PCB); mass spectrometer; mass resolution

中图分类号: O 657.63

文献标识码: A

文章编号: 1004-2997 (2008) 增刊-223-02

质谱分析方法以其在物质成分分析和定量检测中的高灵敏度已成为应用最广泛的仪器分析方法之一。质谱仪已经成为化学分析, 食品安全, 制药, 环境监测, 爆炸物检测以及生命科学等领域的主要分析工具。常用的商业化质谱仪器, 如四极杆质谱、离子阱质谱、飞行时间质谱、傅立叶回旋共振质谱和轨道离子阱质谱仪等, 对组成仪器的机械部分和电子器件都有很高的要求, 因此, 其仪器生产制造、维护和使用费用都很高。使得质谱仪的进一步推广和应用受到很大的限制。多年来, 研制结构简单、价格低廉的小型质谱仪, 使其走进人们的日常生活一直是科学家们追求的目标。

质谱仪器的核心部件是离子质量分析器。在众多种类的质谱仪器中, 离子阱质量分析器由于结构简单, 以及真空度要求低等特点而成为制造小型质谱仪的首选。传统的离子阱质量分析器一般分为三维离子阱^[1]和线性离子阱^[2]两种, 其电极都采用双曲面或双曲柱面结构, 加工这种离子阱需要很高的机械精度, 因而成本很高。近年来, 各种简化结构的离子阱相继出现, Graham Cooks等先后提出了圆柱形离子阱^[3] (CIT) 以及矩形离子阱^[4-6] (RIT) 等, 大大简化了离子阱的结构, 降低了加工和使用成本。

本工作提出了一种新型的构造离子阱的方法, 即将普通的PCB材料和其加工技术用于制造离子阱质谱仪。该方法它具有结构简单、加工容易和价格低廉等优点非常适合制造成低成本的便携式质谱仪, 具有广阔的应用前景。

1 实验部分

1.1 PCB 离子阱的设计及加工

在设计 PCB 离子阱时采用线性离子阱结构, 其截面被设计成矩形, 如图 1 所示, PCB 离子阱由两对 PCB 电极和一对金属端盖电极组成, PCB 表面经化学刻蚀, 再镀金而形成电极。每块 PCB

的两端都加工有四个定位孔用于离子阱的组装, 定位孔与镀金电极之间相互绝缘。端盖电极采用不锈钢薄片加工成图 1 所示的特殊形状, 因此可以与 PCB 上的定位孔紧密配合从而构成 PCB 离子阱。

当离子阱质量分析器工作时, 在 PCB 电极上施加射频电压形成径向射频束缚电场, 同时在两个端盖电极上施加合适的直流电压形成轴向直流束缚电场。进入离子阱中的离子在径向射频束缚电场和轴向直流束缚电场的共同作用下被束缚和存储在离子阱中。两对 PCB 电极中的其中一对电极中央有狭缝(离子引出槽), 用于把存储在离子阱中的离子选择性地引出阱外, 从而被检测和作质量分析。

1.2 离子阱质谱仪系统

该质谱仪使用实验室自行设计的真空系统, 真空腔采用不锈钢加工而成, 分前后两级真空腔, 利用分子泵和机械泵级联的方式获得真空, 最高真空可达 $10\sim 5$ Pa。前腔和后腔分别安装有电子轰击(EI)离子源和 PCB 离子阱质量分析器, 其中 EI 源包括电离腔和离子光学系统。样品通过针阀进入 EI 源的电离腔内, 样品经电子轰击电离所产生的离子通过离子光学透镜聚焦后, 从径向方向进入 PCB 离子阱中, 从而被捕获、束缚和分析。在 PCB 电极的狭缝旁侧安装了电子倍增器用于检测弹出的离子, 电子倍增器在 $-1\ 800$ V 的直流电压条件下工作。

2 结果与讨论

实验所用的化学样品为四氯化碳(CCl_4)和甲苯($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)的混合物, 两种样品皆为分析纯, 纯度为 99.5%, 其中四氯化碳为上海凌峰化学试剂有限公司产品, 甲苯为上海菲达工贸有限公司产品。实验过程中没有做进一步纯化处理。

在实验中对各个参数进行了优化, 质量扫描速度调节为 $3\ 000\ \text{da}\ \text{s}^{-1}$, 共振激发信号的频率为 258 kHz, 幅度从 1 V 线性扫描到 3 V, 两个端盖上都施加 50 V 直流电压, 后腔气压调节至 6×10^{-3} Pa, EI 源电子能量为 70 eV, 同时对聚焦透镜上的电压进行了优化, 使注入离子阱的离子强度达到最大。在上述的实验条件下, 得到了如图 2 所示的质谱图。初步实验表明, 该 PCB 离子阱质谱仪具有优于 400 的质量分辨率。其质量测量范围可以根据离子阱的几何尺寸和工作电压进行调节, 一般应可达到 1 000 以上。

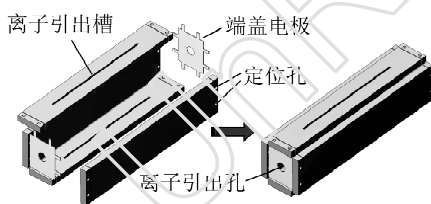


图 1 PCB 离子阱的加工及装配示意图

Fig. 1 The manufacture and configuration of the PCB ion trap

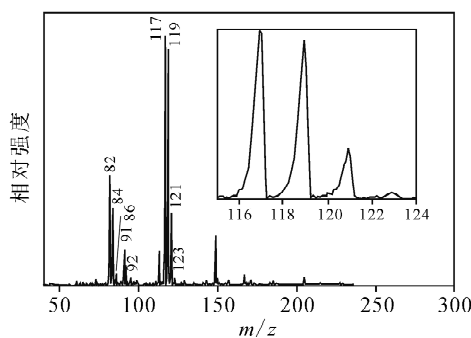


图 2 四氯化碳(CCl_4)和甲苯($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)混合物的质谱峰

Fig. 2 Mass spectrum of carbon tetrachloride (CCl_4) and toluene($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)

参考文献:

- [1] MARCH R E. Journal of Mass Spectrometry, 1997, 32: 351-369.
- [2] DOUGLAS D J, FRANK A J, MAO D M. Mass Spectrometry Reviews, 2005, 24: 1-29.
- [3] BADMAN E R, JOHNSON R C, PLASS W R, et al. Analytical Chemistry, 1998, 70: 4 896-4 901.
- [4] GAO L, SONG Q Y, PATTERSON G E, et al. Analytical Chemistry, 2006, 78: 5 994-6 002.
- [5] OUYANG Z, WU G X, SONG Y S, et al. Analytical Chemistry, 2004, 76: 4 595-4 605.
- [6] SONG Q Y, KOTHARI S, SENKO M A, et al. Analytical Chemistry, 2006, 78: 718-725.