

舞蹈“镓”——镓心跳及相关性质科普实验

王珠宁, 舒姗, 陈丽, 丁琼*, 张海波

武汉大学化学与分子科学学院, 化学国家级实验教学示范中心(武汉大学), 武汉 430072

摘要: 镓, 是“合金奇才”, 是“半导体大师”, 亦是大众的知识盲区。因此, 我们引入了一系列实验, 旨在为大众揭开“镓”的神秘面纱。本实验内容丰富, 主要包含硫酸体系、碱性体系和过氧化氢体系中不同形式的“镓心跳”实验。同时本科普实验兼具试剂安全、操作简单、现象有趣的特点, 充分地展现了化学魅力与化学奥妙, 契合科普实验的需要, 通过合理设计编排, 以结合镓的物理性质小实验的方式可实现对不同年龄阶段具有不同知识背景的受众的科普。

关键词: 镓心跳; 低熔点; 阶段性科普

中图分类号: G64; O6

Dancing Gallium: Popular Science Experiment on Gallium Heartbeat and Related Properties

Zhuning Wang, Shan Shu, Li Chen, Qiong Ding*, Haibo Zhang

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, College of Chemistry and Molecular Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China.

Abstract: Gallium is well-known for its ability to form alloys and its wide applications in semiconductors; however, it has not been investigated in detail. Therefore, we introduced a series of experiments aiming to unveil the mystery of the gallium. The experiment mainly consists of different gallium beating experiments in sulfuric acid system, alkaline system, and hydrogen peroxide system. Additionally, this experiment is safe in terms of the reagent, easy in terms of operation, and interesting in terms of phenomena, fully demonstrating the charm and profoundness of chemistry, which meets the requirements of popular science experiments. By combining small experiments on the physical properties of gallium and through reasonable designing and arranging, it is suitable for audiences of different age groups with dissimilar educational background.

Key Words: Gallium beating; Low melting point; Phased popularization of science

金属镓是化学史上第一个由理论预言走向发现验证的化学元素。其在地壳中的含量很低, 仅为0.0015%, 且以硫镓铜矿(CuGaS_2)形式存在。但镓有着强大的功能, 拥有多重身份: 作为“合金奇才”——镓能与多种金属形成低熔点的合金, 如镓铟合金, 熔点仅 $-19\text{ }^\circ\text{C}$, 因而具有其他合金无可比拟的卓越性能; 身为“半导体大师”——镓可与氮、磷、砷形成一系列化合物, 其均是优质半导体, 被广泛运用于光电子及微波通信领域。如铜铟镓硒薄膜太阳能电池, 具有转换效率高、材料来源广、生产成本低、环境污染小、弱光性能好等显著特点^[1]。

收稿: 2022-10-26; 录用: 2022-12-23; 网络发表: 2023-02-20

*通讯作者, Email: dingq@whu.edu.cn

为揭开“镓”这一液态金属的神秘面纱,我们优化了文献方法^[2-7]并设计了简单的实验,面向不同知识储备人群,有针对性地设计了科普活动方案,科普内容层次化,多方位展现镓的性质。具体如下:(1)面向小学及以下群体:让他们感受“掌心化镓”,我们利用镓的低熔点,邀请他们在玻璃表面制作镓镜,并利用我们自己拍摄剪辑的视频观看“镓心跳”实验现象;(2)面向初中:在以上基础上加上物理性质实验原理介绍,展示“镓心跳”实验,邀请同学上台操作;(3)面向高中生,邀请他们走进实验室,开展三体系“镓心跳”实验,并采用精心制作的原创手绘动画介绍原理,激发青少年学习化学的兴趣和热情;(4)面向社会大众,科普镓的基本性质及在生产生活中的应用,提升公众对镓的认识。

1 实验部分

1.1 实验原理

1.1.1 表面张力

表面张力,指的是液体表面层由于分子引力不均衡而产生的沿表面作用于任一界线上的张力。液体中分子之间的吸引力是产生表面张力的原因。如果我们观察某种介质的内部分子结构的时候,会发现分子间的吸引力是相同的。因此,分子所受到的各个方向的力是相同的,合力为零。另一方面,如果分子处于液体表面,液体内部的吸引力作用在一边,另外一边却没有分子作用力的存在。因此,合力的方向是指向液态内部的。从宏观来看,液态表面积会趋向最小化,液滴将因此趋向变圆。

1.1.2 酸、碱性体系

如图1所示,在硫酸体系中,加入镓液滴后,镓失去3个电子以镓离子的形式进入液滴周围的溶液里,溶剂化镓离子聚集并被留在液态金属界面上的负电荷吸引。当铁丝接触液滴时,铁的较大电负性会导致电子从液态金属表面转移到铁丝上,铁再将电子传递给体系中的氢离子,产生大量氢气。同时,接触区的表面电荷会随之减少。根据Lippmann方程:

$$\gamma = \gamma_0 - \frac{1}{2}cV^2$$

式中, c 是双电层单位面积的电容, V 是双电层两侧的电位差, γ 是表面张力, γ_0 是 $V=0$ 时表面张力的最大值。

电荷密度的下降,导致表面张力的上升,镓液滴逐渐形成圆球形,与铁丝分离。在镓液滴和铁丝之间分离后,镓液滴表面的电荷密度再次上升,导致表面张力减小,再次接触铁丝,产生持续振动^[2-4,6,7]。

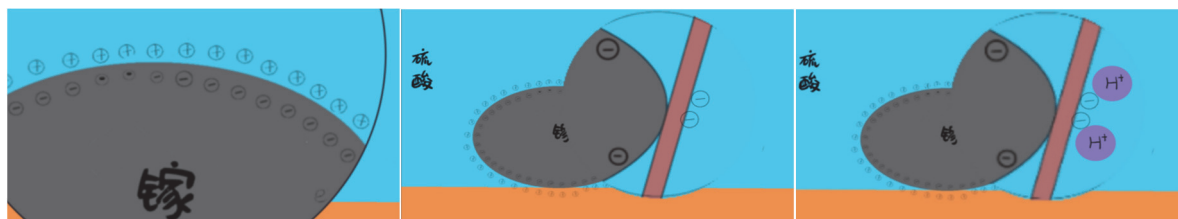


图1 酸性体系原理示意图

1.1.3 过氧化氢体系

过氧化氢体系中,镓表面被双氧水氧化,形成氧化镓薄膜,氧化镓的表面张力小,铺展在底部,体系中的 Fe^{3+} 会破坏氧化镓膜^[5],从而使镓重新暴露体系,表面张力恢复,从而鼓起。在过氧化氢和 Fe^{3+} 的共同作用下,液态金属镓自发形变(图2)。

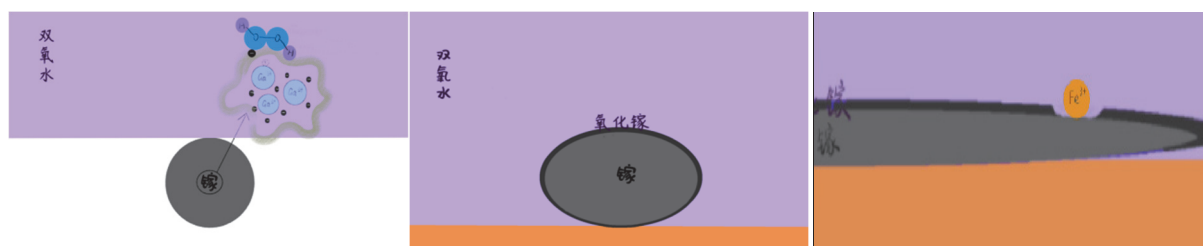


图2 过氧化氢体系原理示意图

1.2 试剂

实验采用的铁丝为生活中常见铁丝，使用前用砂纸打磨即可，其余实验所用的试剂和材料详见表1。

表1 实验所用试剂

试剂	规格	生产厂家
镓	99.99%	阿拉丁上海有限公司
硫酸	分析纯	国药集团化学试剂有限公司
氢氧化钠	分析纯	国药集团化学试剂有限公司
30%过氧化氢	分析纯	国药集团化学试剂有限公司

1.3 仪器

GL 01-24平板电炉，中山市悦龙门电器有限公司；1 mL一次性使用无菌注射器，上海金塔医用器材有限公司。

1.4 实验步骤

1.4.1 酸性体系

量取10 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸于20 mL烧杯中，用去掉针头的注射器注入0.3 mL镓，在电炉上微热，使镓处于熔融状态。后插入铁丝(铁丝事先用砂纸打磨，保证表面光亮，无氧化膜)，铁丝从顶部或侧边靠近镓，即可观察到“心跳”振动。流程见图3。

在此基础上，我们更改了硫酸浓度，利用水浴改变体系温度，探究了不同浓度硫酸以及不同温度下的“镓心跳”的幅度和频率，探究结果详见图4、图5。

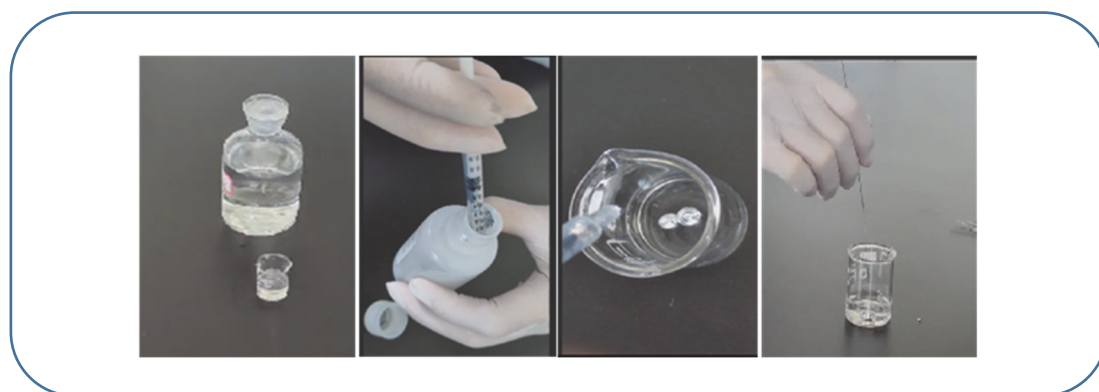


图3 硫酸“镓心跳”实验步骤

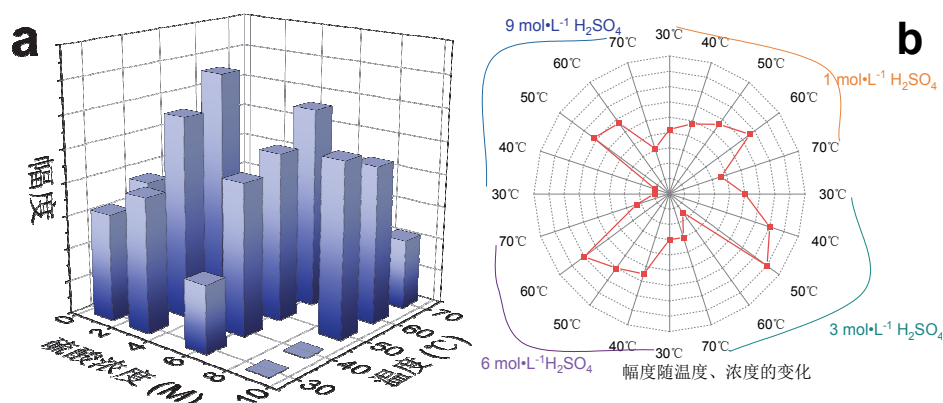


图4 浓度和温度对“镉心跳”幅度的影响

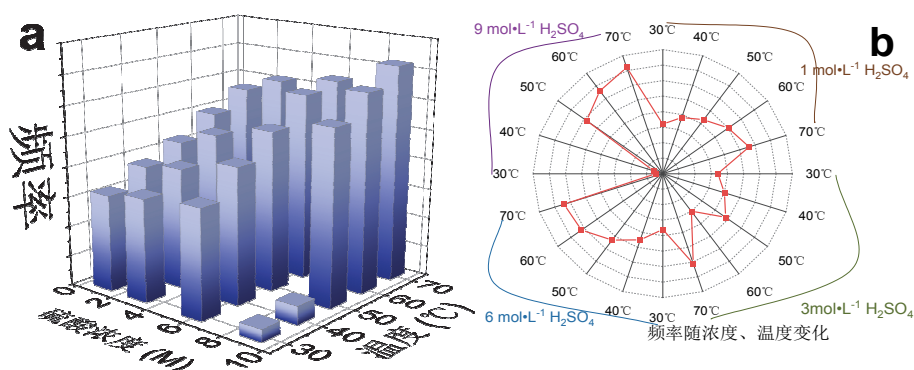


图5 浓度和温度对“镉心跳”频率的影响

1.4.2 过氧化氢体系

量取15 mL 1 mol·L⁻¹硫酸于培养皿中，滴加0.2–0.5 mL质量分数为30%的过氧化氢，再用去掉针头的注射器注入0.3 mL镉。后将铁丝浸入溶液中5–8 s，使体系中进入Fe³⁺离子，再置于电炉上，使镉处于熔融状态。后即可观察到镉的奇异变形。流程如图6所示。

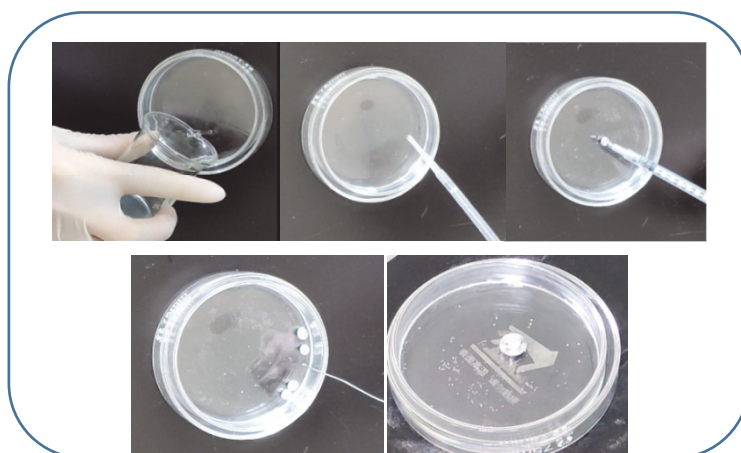


图6 过氧化氢体系“镉心跳”实验

1.4.3 碱性体系(拓展实验)

量取20 mL $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH溶液于铁碗中(或铺展有铁片的培养皿中), 为了便于观察, 我们在碱中添加了酚酞。再用去掉针头的注射器注入0.3 mL 镓(于铁片上), 在电炉上微热, 使镓保持液态。后在镓上添加一些铝条, 让镓“吞噬”铝条, 即可观察到“镓心跳”。流程如图7所示。

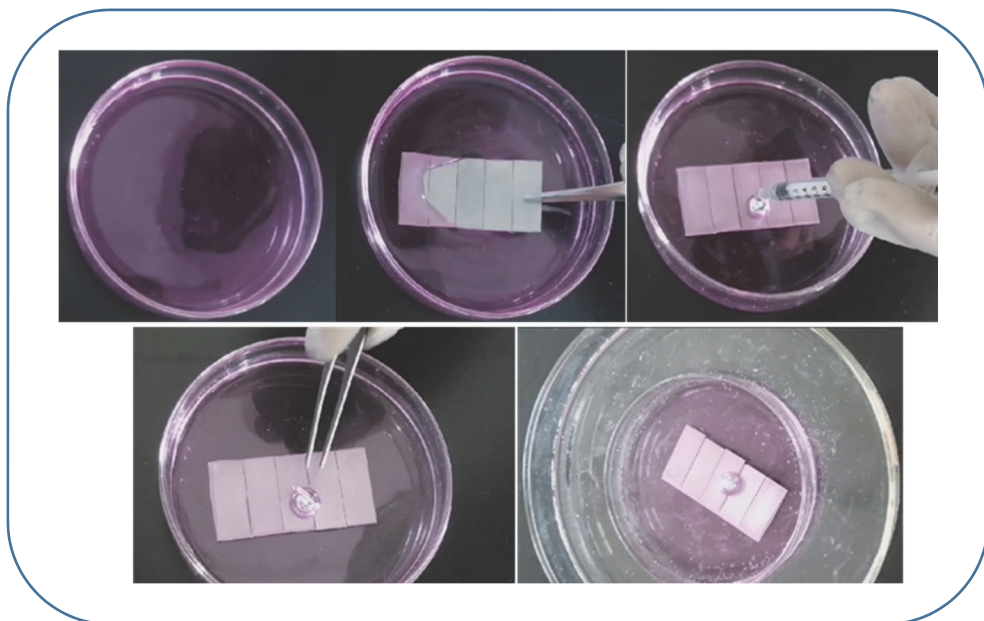


图7 碱性体系“镓心跳”实验

2 科普展示与互动方案

在上述原理介绍的基础之上, 我们针对具有不同知识水平的受众, 设计了几组科普实验和互动方案, 多角度、多方位地向人展示有趣的镓。

互动方案如下:

① 面向小学三年级及以下群体, 我们设计了一些简单有趣的活动(图8、图9), 让他们近距离观察镓、感受镓, 通过知识讲解让孩子们了解镓的物理性质、化学性质、产地用途, 并且通过镓与水银在外形上相似的特点, 可以借此机会比较有毒的水银和无毒的镓, 增强孩子科学素养、安全常识。

② 对于小学三年级以上学生以及初中生, 我们计划邀请他们走进实验室, 在尝试上述简单有趣的活动后再尝试双体系镓心跳中现象最明显的稀酸体系镓心跳实验, 并利用自制的动画, 以不涉及过多专业术语的讲解形式向他们介绍原理, 普及相关知识, 提高科学素养(图10、图11)。并通过介绍中国是镓的主产国等有关国与“镓”的故事, 增进学生的国家认同感和国家自豪感。



图8 镓镜制作及成像



图9 模具及镓“饰”



图10 动手实验

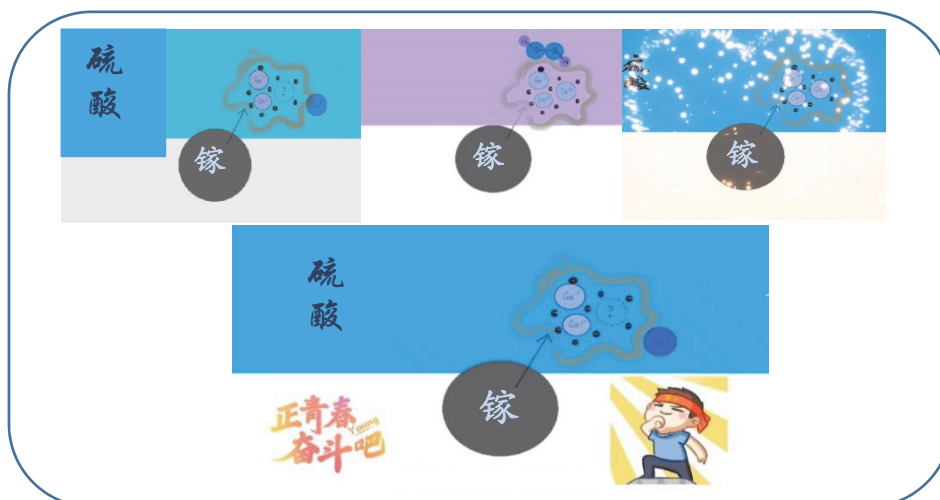


图11 自制动画介绍原理、传递正能量

③ 面向高中生及非化学专业本科生：我们认为可以设置开放实验，让他们既能尝试稀酸体系镓心跳实验，也能尝试操作难度更大的双氧水体系镓心跳、稀氢氧化钠体系镓心跳。如果学生有兴趣的话，还可以鼓励他们进一步探究浓度、温度变化给实验带来的影响。通过这个科普实验，不仅有利于科普与镓有关的知识，更可以借此机会规范学生的实验操作，让学生感受化学实验的魅力。

④ 面向社会大众：我们的侧重点在于知识的传递与普及。我们计划利用镓的“自述”视频、PPT等新媒体方法让大众了解金属镓的基本性质及在生产生活中的应用，引入“低熔点金属”等概念，让大众对这种甚至比稀土金属更贵的金属有更多的了解。

3 结语

本科普实验具有操作简单、试剂安全、现象有趣震撼的特点，充分地展现了化学之美、化学之趣。同时，面向不同受众群体，我们计划针对不同群体的年龄特征、心理特点等展开有特色的科普教学。在本科普实验中，我们以大众喜闻乐见的方式讲述原理，利用镓的“自述”视频，让镓“走进”了人们的视野。寓教于乐，促进青少年了解化学、认识化学、掌握化学，提升了大众的科学素养、科学品位、科学能力。

4 特色/特点/创新性声明

(1) 实验绿色、现象生动、操作简单：实验采用低浓度酸碱溶液以及对人体无毒害的镓，且药品用量极少，无有毒物质产生，绿色环保；“镓心跳”实验现象生动有趣，易于科普；实验仪器简单、操作简便，利于大众动手操作。

(2) 将镓心跳实验与表面张力等概念结合进行科普，以独特视角展现动态变化的表面张力。

(3) 以科普为载体，进行思政教育：本实验利用自制动画以及镓的自述视频等形式，在科普的同时，传递了自信、拼搏、不屈不挠的精神。

参 考 文 献

- [1] 刘超. GAN基LED电子束辐照效应的研究[硕士学位论文]. 天津: 天津工业大学, 2017.
- [2] Wang, B.; Jiang, X.; Zhang, Y.; Lu, Y.; Zhang, Y. *J. Chem. Educ.* **2022**, *99* (2), 1095.
- [3] Yi, L.; Wang, Q.; Liu, J. *J. Phys. Chem. A* **2019**, *123* (43), 9268.
- [4] Chen, S.; Yang, X.; Wang, H.; Wang, R.; Liu, J. *Soft Matter* **2019**, *15* (44), 8971.
- [5] Chen, S.; Liu, J. *J. Phys. Chem. B* **2019**, *123* (10), 2439.
- [6] Yi, L.; Ding, Y.; Yuan, B.; Wang, L.; Tian, L.; Chen, C.; Liu, J.; Song, S.; Liu, J. *RSC Adv.* **2016**, *6* (97), 94692.
- [7] Ge, Z.; Tao, Y.; Liu, W.; Song, C.; Xue, R.; Jiang, H.; Ren, Y. *Soft Matter* **2022**, *18*, 609.