

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201909029

www.dxhx.pku.edu.cn

何以为镓?

龚钰扉, 宋红杰, 张立春*

四川大学化学学院, 成都 610064

摘要: 镓是元素周期表的第31号元素, 本文采取拟人化的手法, 以讲故事的形式对它的发现、性质以及应用等方面进行介绍, 旨在通过这种集科学性和趣味性于一体的科普方式, 让读者充分了解到——何以为镓?

关键词: 镓; 发现; 性质; 应用; 科普

中图分类号: G64; O6

What is Gallium?

Yufei Gong, Hongjie Song, Lichun Zhang *

College of Chemistry, Sichuan University, Chengdu 610064, P. R. China.

Abstract: Gallium is the 31st element in the periodic table of elements. In this paper, the discovery, nature and application of gallium are introduced in the form of storytelling, aiming at giving readers a full understanding of “what is gallium?”

Key Words: Gallium; Discovery; Property; Application; Popularization of science

1 何以为镓——预言下的隐士

在很久很久以前, 元素古城经历了一场史无前例的战乱, 一时间, 世代生活于此的七大家族(碱金属、碱土金属、硼族、碳族、氮族、氧族、卤族)分崩离析, 而硼族元素更是家破人亡、妻离子散, 情况尤为严重。

1808年, 硼凭借英国化学家戴维的帮助率先独立; 1825年, 铝在丹麦化学家厄斯泰德的援手下获得解放; 1861年, 拉米让铊走出阴霾; 1863年, 赖希令铟重获新生……硼、铝、铟、铊, 原本五零四散的硼族元素, 终于再次团聚, 可是, 总感觉缺少了什么……作为硼族元素掌门人的硼, 瞅了瞅早在1828年便已集齐的碱土金属们(铍镁钙锶钡), 又瞧了瞧差异较大的铝和铟, 皱起了眉头, 陷入了沉思……

1871年, 硼找到了元素新城伟大的总设计师——门捷列夫。他预言道, 一定存在一种元素, 在元素新城中, 它的家紧排在铊后面, 处于铝和铟之间。他将其称为“eka-aluminium”, 意为“铝下元素”, 并预测了它的很多性质: 如原子量为68, 密度为 $5.9\text{--}6.0\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 熔点应该会十分的低; 既可以遁迹于酸, 又可以匿影于碱, 但在空气中却很乖巧; 与硫酸根拥抱, 可组成矾土; 与氯离子共舞, 挥发性比 ZnCl_2 更高……他甚至提出, 人们可以用光谱仪来发现这个元素!

收稿: 2019-09-16; 录用: 2019-10-11; 网络发表: 2019-11-01

*通讯作者, Email: zhanglichun@scu.edu.cn

基金资助: 四川大学创新火花项目(2018SCUH0078); 四川大学新世纪高等教育教学改革工程第八期(SCU8157)

1875 年, 法国化学家布瓦博得朗在闪锌矿矿石中提取的锌的原子光谱上观察到了一条新的紫色线^[1]。这意味着一种未知的元素出现了! 其许多物理化学性质与预言相差无几^[2], 然而布瓦博得朗测定的密度是 $4.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 和门捷列夫预测的数值并不相符。硼、铝、镓、铊苦苦守候 12 年的、失散已久的亲兄弟, 究竟就是他, 还是另有其人?

为了使硼族元素早日团聚, 对自己的预言十分自信的门捷列夫立即写信给布瓦博得朗, 建议他提纯后重新测定密度^[3]。布瓦博得朗对此感到怀疑, 在只有他掌握样品的情况下, 千里之外的门捷列夫怎么可能知道它的精确密度呢? 面对这样的质疑, 他虽心有不快, 但秉承着一个科学家的基本素养, 还是重新测定了密度, 结果却令他大为折服, 这次的数据是 $5.941 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 竟神奇地落在了 $5.9\text{--}6.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间。

可以确定, 布瓦博得朗所发现的新元素正是 4 年前门捷列夫预言的“铝下元素”, 就这样, 硼族元素的第三把交椅终于为人所知, 他将此物质命名为 gallium, 元素符号定为 Ga。但为人所知并不等同于为人熟知, 面对着这失散已久的亲兄弟, 硼、铝、镓、铊的心里不禁冒出了一个疑问——何以为镓?

2 何以为镓——合金中的奇才

“龙生九子, 各有不同”。作为与硼、铝、镓、铊同宗同源的镓, 亦有其独特的一面。如图 1 所示, 他是一个外表刚强但内心柔软的银发少年, 由于内层电子的屏蔽作用太弱, 最外层的 $4p$ 电子受到的原子核电磁力吸引更强, 导致其体型(125 pm)甚至比他二哥——铝(143 pm)还要小, 也正因此, 他的第一电离能甚至比铝还大, 换句话说就是他不愿意贡献出电子。



图 1 镓的自然形态图^[4]

电子版为彩图

金属晶体之所以能有金属的特性, 就是因为所有的原子都互帮互助, 主动贡献出电子。从这个意义上来说, 卧榻之旁岂容他人酣睡的镓显得极为另类, 在他体内的大部分镓原子都是通过共价键相结合的, 组成一个个 Ga_2 分子, 然后再通过范德华力联系在一起^[5]。克服范德华力容易, 断裂共价键却难, 别看他熔点只有区区 28.76°C , 其沸点可高达 2400°C , 要知道 356.73°C 时, 汞就已经沸腾了。

“打仗亲兄弟, 上阵父子兵”。特别是当镓和他的兄弟们联手时, 其安全环保且能承受更高温度的特性, 便足以作为水银温度计的替代品, 挑战汞老头在温度计产业的垄断地位并从中分得一杯羹。

他对温度的微小变化有着超越常人的敏感。寒冬之时的他显得十分脆弱, 可若此时你热情地伸出双手, 如图 2 所示, 掌心的温度便足以使他融化, 并且哪怕以后的温度继续下降, 他也能在冰天雪地里保持液态达数日之久。如果让他与铟携手同行, 更是具有着其他合金无可比拟的卓越性能——其远低于水的凝固点的熔点(-19°C), 让他成为了低熔点合金的金字招牌。

当他重回固态时，他会长大 3.4%，正因如此，他的居所可不能太过拥挤。由于他会浸润玻璃，所以给他玻璃的房子是不够明智的。倘若你想把他安排到金属的房子里，那他定会给你一个巨大的“惊喜”——镓这哥们虽然自己没个金属的样子，但却特别喜欢掺和到其他金属里，让他们变得更脆，也就是说，一栋崭新的金属房屋，在他入住几天后，便会风雨飘摇，所以让他住进塑料的房子里方为上策。

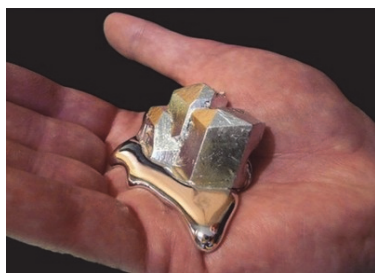


图 2 镓在手中融化^[6]

电子版为彩图

3 何以为镓——半导体界的大师

连金属都不肯放过的镓，又怎会让非金属得以幸免。在一定的场合，氮、磷、砷等都不得不接受镓的深情告白，从而形成一系列镓的化合物，它们都是优质的半导体材料，被广泛应用于光电子及微波通信领域，因此镓可谓是半导体界的大师。

镓的成就簿中，浓墨重彩的第一笔功绩，便是同砷合作而完成的！砷化镓可谓是在硅之后又被广泛应用的半导体材料，他武功的高强之处便是在于其具有良好的光电性能。因其电子迁移率是硅的 5–6 倍，故在制作微波器件和高速数字电路方面具有重要作用，他可制得电阻率比硅高 3 个数量级以上的半绝缘高阻材料^[7]，并用于集成电路衬底、红外探测器、 γ 光子探测器等器件，以其为原料所得的半导体器件具有性能好、噪声小、抗辐射能力强等优点。

试问化合物半导体中，何种单晶材料生产量可与砷化镓争锋？那便是磷化镓了！1929 年，镓与磷展开合作；1955 年，其发光性能初露锋芒；1969 年，红、绿色 LED 问世……磷化镓从此成为主要的 LED 材料，磷一跃成为镓的第二合作伙伴。

要说真正让镓登上半导体之巅峰的那一定是非氮莫属了！氮化镓作为继硅、砷化镓之后的第三代传人，他的开发与应用是目前全球半导体研究的前沿和热点，是新型半导体产业的基础和核心。宽的直接带隙、强的原子键、高的热导率、极好的化学稳定性和卓越的抗辐照能力，昭示着其在高温大功率器件和高频微波器件等应用方面有着广阔的前景^[8]。

以镓的化合物半导体为材料所制得的太阳能电池，平生所爱便是高效率地享受日光浴然后吐出电能，而铜铟镓硒薄膜太阳能电池便是其中的杰出代表，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^[9]，有望成为极具竞争力的年轻一代！

4 何以为镓——未来无限可能的创造者

何以为镓？他，可作为医疗器件和医用材料；他，可用于定位诊断和鉴别诊断；他，让缝合断裂的神经成为可能……

何以为镓？他，可喷墨打印绘制电路；他，可构建液态金属机器；他，可应用于各种保险装置……

何以为镓？他可传导热量；他可吸收中子；他可增强玻璃的折射率；他可成为反应的催化剂……

何以为镓？便是在地壳中仅占重量的 0.0015%，却依然努力让这个世界有所改变的那个他！

参 考 文 献

- [1] de Boisbaudran, L. *Comptes Rendus* **1835–1965**, 81, 493.
- [2] Ball, P. *The Ingredients: A Guided Tour of the Elements*; Oxford University Press: Oxford, UK, 2002; p. 105.
- [3] 王雅珍. 齐齐哈尔大学学报(哲学社会科学版), **2004**, No. 6, 74.
- [4] Field's Metal. [2019-09-09]. <https://www.cnet.com/pictures/best-toys-for-mad-scientists/4/>.
- [5] 元素家族——连载 150: 在手上会化掉的金属. [2019-10-07]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/36093511>.
- [6] 不可思议! 在手中融化的金属. [2019-09-09]. http://www.360doc.com/content/13/0720/21/5177773_301376891.shtml.
- [7] 戴慧莹. 大功率半绝缘 GaAs 光电导开关瞬态传输特性及其损伤机理的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.
- [8] 刘超. GAN 基 LED 电子束流辐照效应的研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2017.
- [9] 孙旭. 中国有色金属, **2018**, No. 20, 44.

欢迎订阅《物理化学学报》

2021 年全国报刊杂志征订工作已经开始, 敬请向贵单位推荐订阅 2021 年《物理化学学报》。

《物理化学学报》是由中国科学技术协会主管, 中国化学会和北京大学共同主办, 北京大学化学与分子工程学院学报编辑部编辑出版的学术刊物。设有“亮点”“当期推荐”“通讯”“展望”“专论”“综述”“论文”“人物专访”等栏目, 报导物理化学学科及交叉学科的基础研究及应用研究的创新成果。

中国科学院院士唐有祺先生担任名誉主编, 中国科学院院士刘忠范先生担任主编; 编委会中有 10 位两院院士, 1 位加拿大科学院院士, 2 位海外学者。2004 年, 获得国内期刊界最高奖——第三届全国期刊奖百种重点期刊奖; 2015 年入选国家新闻出版广电总局“百强报刊”。中国科协精品科技期刊工程项目资助出版。读者普遍认为《物理化学学报》具有极高的学术价值和收藏价值。WoS 公布的 2019 年影响因子为 1.379。

《物理化学学报》已被美国《科学引文索引》(SCI)网络版、美国《化学文献》(CA)、日本《科技文献速报》、俄罗斯《文献杂志》(AJ)、中国科协和国家自然科学基金委主办的《中国学术期刊文摘》、中国科学技术部万方数据网络中心的《中国科技论文与引文数据库》(CSTPCD)、中国科学院文献情报中心的《中国科学引文数据库》、中国生物学文献数据库中心的《中国生物文摘》等国内外多种著名检索刊物和文献数据库摘引和收录。

《物理化学学报》现为月刊, 大 16 开本, 亚光铜版纸印刷。2021 年订价 50.00 元/册, 全年订价 600.00 元。国内邮发代号 82-163, 欢迎国内读者到当地邮局订阅, 国外读者可通过中国国际图书贸易总公司订阅(Code No 1443-MO)。若通过邮局订阅有困难或错过订阅, 请直接与编辑部联系。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆订阅。

地址: 北京大学化学学院《物理化学学报》编辑部

邮编: 100871

电话: +86-10-62751724

邮箱: whxb@pku.edu.cn

网址: <http://www.whxb.pku.edu.cn>

《物理化学学报》编辑部