

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX201905065

www.dxhx.pku.edu.cn

阿硅正传

杨璐明[§], 朱亚先^{*}

厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005

摘要: 硅作为地壳中含量第二的元素, 其化合物在我们的生产、生活中不可或缺。本文从硅的前世、今生和未来三个角度讲述了硅及其化合物的应用与未来展望。

关键词: 硅及其化合物; 化学性质; 应用

中图分类号: G64; O6

The Biography of Silicon

YANG Luming [§], ZHU Yaxian ^{*}

College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, P. R. China.

Abstract: Silicon is the second most abundant element in the earth's crust, and its compounds are indispensable in our production and life. The application and prospect of Silicon and its compounds are described in this paper from the perspective of Silicon's past life, present life and future.

Key Words: Silicon and its compounds; Chemical property; Application

硅家族, 是地球上的元老家族之一, 世代与氧族交好, 他们的氧化物、盐类等物质, 构成了地球的沙漠、土壤。硅家族成员众多, 从单质到化合物、从无机界到有机界, 纷繁浩杂, 历史悠久, 如今硅家族仍在人类社会扮演重要角色, 通信、能源、计算机行业都显示出硅族老当益壮的活力。

要给硅家族作传, 得追溯到千百万年以前, 从硅石的那场初恋说起……

1 前世

黄昏里, 硅石(主要成分为 Si_2O)在荒凉的沙漠中做着久远的梦……

作为地壳中含量最多的两种元素的结合体, 他沉稳庄重, 不溶于水, 熔点高达 $1650\text{ }^\circ\text{C}$, 并且有稳定的硅氧四面体结构^[1]。

他曾以为不会和任何一位酸姑娘发生反应。

直到他遇到氟化氢, 她轻飘飘的, 沸点只有 $19.5\text{ }^\circ\text{C}$, 他见到她的第一眼就被迷住了, 她那样温柔, 不像盐酸那么强势, 却又敢爱敢恨, 具有强烈的腐蚀性和剧毒性, 像极了带刺的玫瑰。

“曾经沧海难为水, 除却巫山不是云”, 自从那次偶遇之后, 他总希望能和她再次相见。

沧海桑田, 一过就是数千年……大概 4–6 千万年前, 硅石觉得身上痒痒的, 他睁开眼, 发现自己被一群黄绿色和黄褐色的、毛茸茸的藻类细胞围起来, 周围已不再是干燥的沙漠, 而是流淌着咸

收稿: 2019-05-22; 录用: 2019-05-25; 网络发表: 2019-06-18

^{*}通讯作者, Email: yaxian@xmu.edu.cn

[§]2018 级本科生

基金资助: 国家基础科学人才培养基金项目(J1310024)

咸的液体。

交谈中，他明白了这种液体叫海水，他得知地球已经演化出了生命，这些小的仅有千分之几毫米、大的也不超过 1-2 毫米的小生命能吸收太阳光的能量，将细胞中的水分解，使水分子上的一个氢原子分离出来，一部分游离的氢原子和二氧化碳化合经过复杂的化学变化后就产生了糖和淀粉，这就是光合作用；糖和淀粉再和细胞吸收的氮、磷、硫等进一步作用，就形成了蛋白质和脂肪等物质；游离出的部分氢原子中每两个和一个氧原子结合形成了水，氧分子中的另一个氧原子就从细胞里跑出来组成了最初的大气中的氧气。

他向海水中的藻类打听氟化氢姑娘的下落。

藻类说：“我们可以借助海水漂流，因此只要有水的地方，都有我们的踪迹。我愿意帮你寻找氟化氢姑娘，但现在地球大气层内的二氧化碳浓度太低，无法满足我们正常的光合作用，怕是无能为力。”

于是，硅石决定和藻类组合成为硅藻。他把自己变成一间透明的小屋，组成藻类植物的细胞壁，分为上下两部分，上面的盖叫上壳，下面的底叫下壳，上壳套住下壳，组成密闭的空间，保证足够浓度的 CO_2 ；另外，玻璃房子上还有一些微孔与细微的纹路，产生了比平滑表面更多的表面积，这些表面积让光合作用更有效率^[2]。

硅石开始为有朝一日见到氟化氢姑娘准备礼物。他请来了多彩的金属离子朋友，他们以硅氧四面体为主干，排成了岛状、链状、环状、架状的队形，形成了五光十色的各类宝石。紫水晶是架状结构，主要成分是硅石(Si_2O)掺杂了锰离子；祖母绿、海蓝宝主要成分是铍铝硅酸盐($\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$)；翡翠属于辉石类，主要成分是硅酸铝钠($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$)；碧玺是含硼环状硅酸盐，主要成分为 $\text{Na}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$ ；石榴石是岛状硅酸盐，分子式可用 $\text{A}_3\text{B}_2(\text{SiO}_4)_3$ 表示，A 表示 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等二价阳离子，B 表示 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Cr^{3+} 等三价阳离子^[3]。

有一次，他走累了，停在一座海岛小憩，命运在这里发生转折……

那是五千年前，腓尼基商人遇到一场偶然的风暴，被迫流落海滩，由于没有找到支撑锅的石头，他们搬来船上装载的商品(苏打)撑起锅来做饭。正是这次偶然的热力作用，沙与尘熔成了一种具有光泽且有点透明的固体，尽管当时充满杂质而晦黯不明，但硅石确确实实感受到自身的变化，在强热的反应中，它由硅石成长为更加沉稳的硅酸盐，并且拥有了新的名字——玻璃(钙钠硅酸盐)^[4]。

他结识了人类这群充满智慧的生物，并和石灰、苏打联手——硅提供透明度、钙提供强度、苏打降低熔点，共同地探索让玻璃一次次焕发出新的生机，成为了人类的得力助手。透明玻璃让细菌原形毕露，人们了解了传染病，因此有了巴斯德和科赫以来的医学革命；玻璃让人们发明了显微镜和望远镜，以它独特的形式延伸了人类的眼睛；玻璃让人们发现了晶莹透亮的美，让人们有了化学最基础的仪器。

玻璃也使硅石的梦想变成了现实，看到过玻璃刻蚀艺术品吗？那些透明或者磨砂的玻璃画就是玻璃和氟化氢姑娘在划出的美妙舞步。

而在远离海洋的内陆地区，硅石和朋友纯碱结合成为硅酸盐，占地壳质量的 95%，千万年来保持着地壳的坚实稳固。

大约 8000 年前，人们把高岭土(主要成分为硅酸盐)、氧化铝、石英石(主要成分为二氧化硅)混合起来加热，于是，可塑性较差的硅酸盐矿物蜕变成成为硬度较高的最原始的陶器，拉开了原始社会新石器时代的序幕。聪明的古代人将各类不同的硅酸盐从配比、烧制温度、工艺等方面进行不断改进，完成了从陶到瓷的升级。从此，陶瓷和人们成为了好友，作为食器、装饰，与人们一起生活，留下属于自己的历史印记。

2 今生

小明躺在床上玩着手机，看到一条新闻：“近日，有许多工人因长期吸入大量含有游离二氧化硅的粉尘，得了矽肺病。两肺增生广泛性纤维组织，微血管循环受到障碍，抵抗力下降，容易合并其他疾病，导致病情恶化，甚至死亡^[5]。”

小明心想：“果然跟硅有关的没一个好东西，听说用含硅油的洗发水还会让人掉头发。”

突然，手机里传来声音：“谁在说硅家族的坏话？”

小明吓了一跳，“我在新闻上看到的，硅对人类有害，应该远离。”

手机又说话了：“你知道我是谁吗？”

小明摇摇头。

“我是手机里的芯片——单质硅，是硅家族的掌门人，远离了我，你还怎么玩手机呢？”

“对不起，我对硅的了解太少了，不该这样草率地说话。”小明连忙道歉。

“那我先自我介绍一下吧。由于硅氧结合的稳定性，戴维、盖吕萨克等好多科学家为了得到纯净的硅，费了不少功夫，却没能成功。最后，1823年采尼乌斯先生先用钾还原氟硅酸钾，得到一团棕色粉末，反复冲洗，才看到了我的真面目——无定形硅。31年后，法国化学家德维尔将无定形硅和氯化钠、氯化铝混合电解，得到了晶体硅^[6]。”

“好难呐！如果你没有这么亲氧，科学家就不用费力了。”小明说。

“话又说回来，正是由于亲氧的性质，我可以做脱氧剂呢！把我和焦炭、钢混合在1500℃以上加热，可以得到高强度、高硬度、富有弹性的优质合金。”

“但是，人们为什么要费这么大劲制备单质硅呢？”小明有些疑惑。

“我的价层有4个电子，价电子数恰好能填满价带，是优良的半导体材料。你听说过半导体吗？”手机中声音问道。

小明连忙说：“哦！半导体材料可以做成计算机芯片，这个我知道！”

“半导体材料电阻率随温度升高而降低的特性，有光生伏特效应、光电导效应和整流效应。适合制成集成电路，不仅可以作为计算机芯片引领人们的第三次科技革命，可以制成精密的测温元件，还可以作为无线电收音机和电视机的‘讯号放大器’，用途多着呢！”

“这么厉害呀！那么，你是如何导电的呢？”小明好奇地问。

“人们向单晶硅的身体里掺入少量的硼或磷，通过调控，可以得到P型半导体(以空穴导电为主)和N型半导体(以电子导电为主)；让他们俩紧密接触，P型半导体缺电子，N型半导体多电子，就会出现浓度差。小明，考考你，浓度差的出现会带来什么结果呢？”

“N型区的电子会扩散到P型区！平衡后交界面两侧就生成了电势差。”小明兴奋地说。

“没错，这时界面的P型一侧带负电，N型一侧带正电，这就是PN结。当太阳光射到PN结上时，一定能量的光子可以将电子从硅的共价键中激发出来，成为自由电子，自由电子在PN结的电势差作用下定向流动，形成可控的电流。这就是光生伏特效应，意思是光能产生了电压，可以高效利用太阳能^[7]。

小明不由地感叹：“没想到，硅为人类创造了巨大的财富啊。”

“不仅是单晶硅，二氧化硅也是我们家族的大功臣，它是光导纤维的主要成分。”

“等等，二氧化硅不能导电，怎么能做光纤材料呢？”小明不解地问。

“光纤传递信息的原理不是导电而是导光。光导纤维是一种透明的玻璃纤维丝，直径只有1-100μm。光由一端进入，经多次全反射，从另一端射出。光纤通信容量高，传送时的损耗低，不受电、磁的干扰，不怕窃听。”

单晶硅顿了顿，继续说：“有了光纤传感器，上天入海都不是梦呢！因为可以实时连续监视温度、应力、负载情况，飞行器和海底探测器获取数据的容量增大，稳定性增强。还有，小明，你听

说过微创手术吗？它的普及也多亏了光纤，因为光纤的直径小，可以实现更高分辨率，有助于实时的仪器引导，可以帮助医生顺利进行手术^[8]。”单质硅骄傲地说。

“真牛！我以后也要去研发硅产品！”

“哈哈，现在知道我们硅家族的好啦！刚才谁在冤枉硅油妹妹啊，她还在委屈着呢！”

硅油妹妹抹着眼泪：“物质表面都会有一个化学吸附层和物理吸附层，化学吸附层在里面，物理吸附层在外面。我们硅油无味无毒，是化学惰性物质，和头发表面没有反应活性，只待在物理吸附层，因此对人体是没有伤害的，反而可以润滑人们的头发。我们的透气性能很好，更不会堵塞头发的毛鳞片，造成头发掉落^[9]。”

“真对不起，我不该说那样的话。”小明不好意思地挠挠头。

他们正聊得开心，妈妈回来了。看到妈妈空着手，“妈妈，我不是打电话让您带麦当劳吗？”

妈妈说：“唉，别提了，没想到麦当劳汉堡里居然加橡胶，好像叫聚二甲基硅氧烷。”

“啊，又是硅？”小明有了上回错怪硅的经历，不敢随便说话了。他忙跑进里屋，想要找手机中的硅问问清楚。

硅油妹妹说话了：“聚二甲基硅氧烷是我的姐姐，她在食品加工中做消泡剂的工作。我们有共同的姓氏——二甲基硅油。根据链长的不同，二甲基硅油可以粘度很低、比水还稀，也可以粘度很高、跟橡胶一样。虽然我们是姐妹，但是性情却完全不同，玩具里的硅橡胶、洗发水里的硅油还有食用油里的消泡剂，其实不是一种东西哦^[10]！”

小明赶紧向妈妈进行了解释。

妈妈还是有些担忧：“那硅进入人身体内会不会有害呢？”

单质硅说：“您放心，适量的硅对人体有益而无害。硅元素是动物结缔组织、软骨形成中必需的，参与骨的钙化作用，硅元素会将粘多糖互相连结，并将粘多糖结合到蛋白质上，形成纤维性结构，从而增加结缔组织的弹性和强度，维持结构的完整性，保护动脉不被粥样硬化。缺少的話，会使动物生长迟缓，头发、指甲易断裂，皮肤失去光泽呢！”

3 未来

嗨，欢迎来到未来！我是你的向导“硅宝”，是一个可爱的硅基生命。

啊，没听说过硅基生命？那你总知道碳基生命吧，人类就是碳基的嘛，蛋白质、核酸、糖类、脂肪都是碳链。硅作为碳同为第四主族的兄弟，有 14 个电子，性质相似，当然也可以形成生命啦。我的肌肉和骨骼由单晶硅构成，大脑是超高集成度的芯片，电流和磁场是我的血液，以地核中的放射性岩块为食物，靠它提供的能量生存。

哦，你看不见我？对啊，我在地壳内部呢。我最害怕地表的水了，潮潮的，让人全身不舒服，还会让我短路。我的声音是通过光导纤维传到你耳朵里的，声音被编码后通过光纤电缆以每秒 125000 英里的速度传送到你面前。

嘿，请你扫一扫码！我的身高、体重、肩宽、腰围数据你手机上显示了吧？这是因为我的衣服结合处装了用二氧化硅拉制的光导纤维。人类也可以使用这项技术上传数据，不用面对面测量，就可以为每个人量体裁衣了。

我呀，不光叫“硅宝”，实际上是个大“瑰宝”呢！以前人们使用半导体材料只是利用了 $1/10^9$ 的太阳能，如今我们建造了戴森球——由硅片半导体薄板组成包裹太阳光的球壳，几乎可以 100% 利用太阳能，把太阳作为我们天然的核聚变工厂，这样，能量就足够人类使用百亿年，而且不会污染环境！

.....

宇宙存在着无限的可能性，也许“硅宝”真的在某个宇宙的角落等着我们呢。

参 考 文 献

- [1] 刘新锦, 朱亚先, 高飞. 无机元素化学. 北京: 科学出版社, 2010: 172–173.
- [2] 硅藻. [2019-02-15]. <https://baike.so.com/doc/5803220-6016019.html>.
- [3] 赵玉山, 王恩德, 石铁铮. 沈阳黄金学院学报, **1994**, 13 (2), 186.
- [4] Macfarlane, A.; Martin, G. *The Glass Bathyscaphe*. 管可称, 译. 北京: 商务印书馆, 2003.
- [5] 吴瑕, 彭劲武, 梁冠男, 李飞凤, 胡永斌. 工业卫生与职业病, **2013**, No. 5, 280.
- [6] 硅 Si. [2013-09-09]. <https://baike.so.com/doc/5402268-7597536.html>.
- [7] 魏挺. 科技广场, **2017**, No. 3, 65.
- [8] 吴军玲. 甘肃科技纵横, **2017**, No. 7, 7.
- [9] 方红承, 张爱霞, 陈莉, 李文强, 曾向宏. 有机硅材料, **2017**, 31 (3), 205.
- [10] 欧阳喜仁, 沈萍萍, 冯钦邦, 吴利民, 王跃林. 有机硅材料, **2017**, 31 (5), 367.