

# 生物体内的磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )粒子

钱 霞<sup>†</sup>

(聊城大学物理科学与信息工程学院 聊城 252059)

**摘 要** 磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )粒子是具有反尖晶石结构的立方晶系亚铁磁性矿物,在生命科学和生物技术领域有着重要的应用价值,可以在生物体内自然合成.文章介绍了生物体内的磁铁矿粒子,并从晶体结构等角度较详细地介绍了多种生物体内的磁铁矿粒子的情况.文章最后给出了趋磁细菌、人类大脑以及石鳖体内自然合成的纳米 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 粒子的晶貌、磁畴分布等.

**关键词** 磁铁矿,生物磁,晶貌,磁畴

## Magnetic $\text{Fe}_3\text{O}_4$ particles in the living body

QIAN Xia<sup>†</sup>

(Liaocheng university, School of Physics Science and Information Engineering, Liaocheng 252059, China)

**Abstract** Magnetic  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  particles are ferromagnetic with a converse spinel crystal structure belonging to the cubic crystal system. Nano-magnetic  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  particles play an important role in the life sciences and biotechnology, and occur naturally in the living body. The function of magnetic particles in several kinds of living bodies is described from the viewpoint of crystal structure. The crystal configuration and magnetic domain structure of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nano-magnetic particles produced naturally in magnetotactic bacteria, human cerebrum and chiton are given.

**Keywords** magnetic, biomagnetic, crystal structure, magnetic domain

在自然界中,铁和钛的氧化物是最重要的磁性矿物之一,磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )作为具有天然剩磁的主要矿物之一,广泛地存在于火山岩、沉积岩和变质岩中<sup>[1]</sup>.

磁铁矿晶体是具有反尖晶石结构的立方晶系铁氧化物,其晶格常数  $a = 8.369 \text{ \AA}$ . 在一个单位晶胞中(见图1),有8个 $\text{Fe}^{3+}$ 离子在A位置上,每个A位上的离子被构成四面体四个角的 $\text{O}^{2-}$ 离子所包围.8个 $\text{Fe}^{2+}$ 离子和8个 $\text{Fe}^{3+}$ 离子处B位置上,每个B位置上的离子被处于6个八面体角上的 $\text{O}^{2-}$ 离子所包围.A位上的自旋磁矩相互平行,B位上的磁矩也相互平行,但A位和B位上的自旋磁矩是反平行的.这样 $\text{Fe}^{3+}$ 离子的磁矩被完全抵消,只余下 $\text{Fe}^{2+}$ 离子的磁矩,因而整个磁铁矿晶体表现出亚铁磁性<sup>[2]</sup>.

磁性纳米 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 在生命科学和生物技术领域有着重要的应用价值,如:生物活性物质的固定和修饰,生物活性物质的分离,生物活性物质的检测,靶向药物以及磁性流体的温热疗法等等<sup>[3]</sup>.

20世纪60年代,人们第一次人工制造出了磁性纳米颗粒,合成了生物相容 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 磁性纳米微粒,所采用的方法主要有以下几种:共沉淀法、有机金属前躯体的高温分解法、微乳液法、气溶胶法等.在长时间内,应用于生命科学的纳米 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 主要是用这些化学法制备的磁性纳米 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 微粒.但是,物理或化学方法制备的磁性纳米材料能达到纳米尺寸,其尺寸分布却较宽,而且表面裸露,易发生聚集,使磁性材料失去单畴磁极<sup>[4]</sup>,失去纳米材料特有的性质.故改进磁性纳米 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 微粒的化学合成方法,以得到粒径分布范围窄、操作简单和成本低的纳米 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 是人们关注的重点.

然而就在人们关注人工合成纳米单畴 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 粒子的时候,科学家们发现地球上的生物早已能通过生物控制的方法在生物体内合成性能优良的磁性纳

2007-09-26 收到

<sup>†</sup> Email: qianxia@lcu.edu.cn

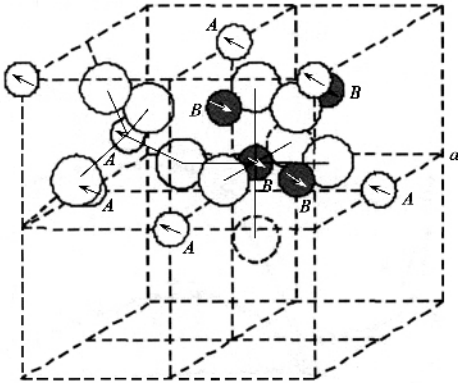


图1 磁铁矿晶体的单位晶胞概图。晶格常数为  $a$ ， $A$  位置和  $B$  位置上的实心原子球分别代表四面体位和八面体位，大的空心球代表氧离子所在的位置

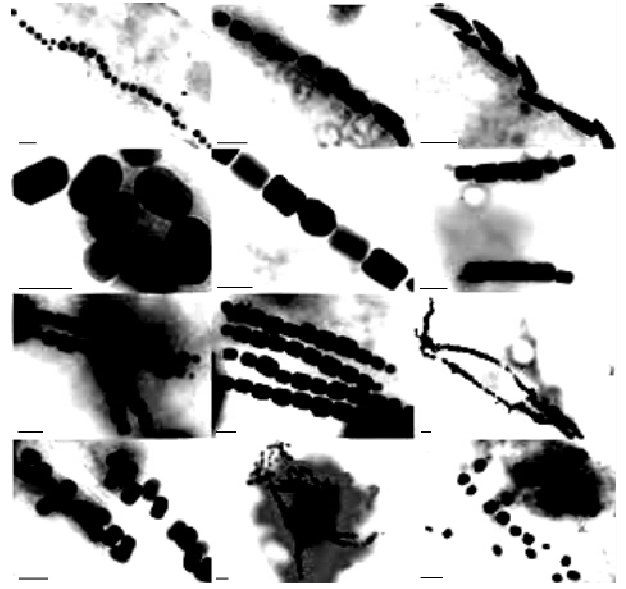


图3 不同趋磁细菌形成的磁小体的形态结构

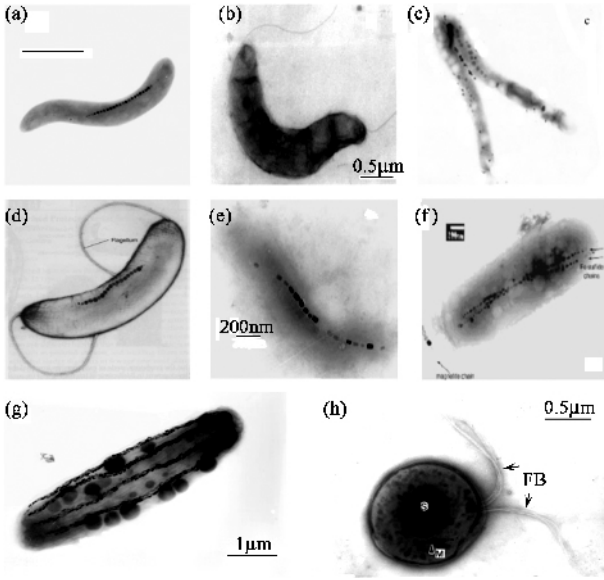


图2 趋磁细菌及胞内磁小体

米颗粒。1975年,美国科学家 Blakmore 发现趋磁细菌(见图2),其体内含有对磁场敏感的纳米级磁小体并表现出趋磁行为,这引起了许多科学家的重视。此后,在自然界中又陆续发现海生的软体动物甲贝、蜜蜂的腹部、家鸽的头部、海豚、蝴蝶及藻类体内,甚至脊椎动物及人脑的海马组织中也都存在磁性颗粒<sup>[5-9]</sup>。

趋磁细菌体内所合成的磁小体的成分、形态结构及大小随种类的不同而各不相同(见图3)。其成分有  $Fe_3O_4$ 、 $Fe$ 、 $Fe_3S_4$  或  $FeS_2$  之分。它们的晶形不同于无机成因磁铁矿颗粒,形态结构有平截六面体棱柱形和平截八面体棱柱形等(见图4(a)至(f));大小一般都在 25—100 nm 之间(稳定单畴 SSD 或极细的假单畴 PSD),而且粒径分布非常均匀,其外表面有质膜包被(见图4下部照片)。同一菌株或一类

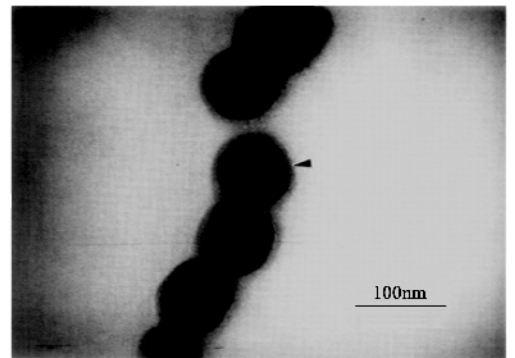
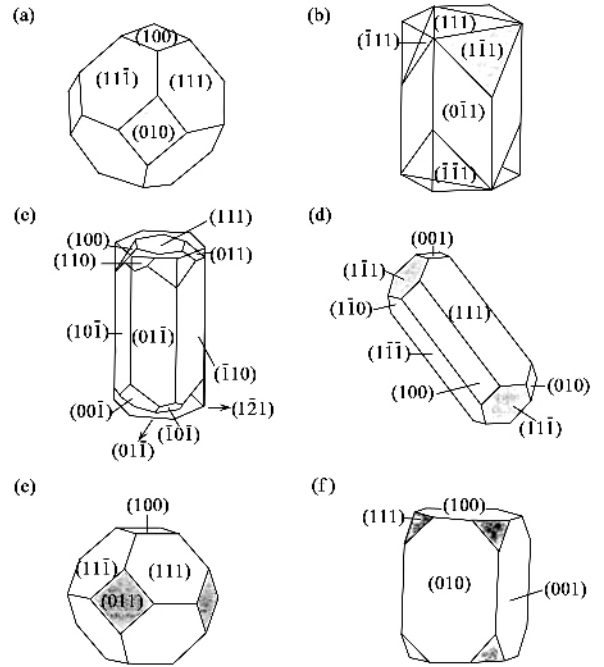


图4 趋磁细菌体内磁小体的晶体结构及膜示意图

细胞中成熟的磁小体的大小基本一致,形态及晶型结构稳定<sup>[10,11]</sup>。

在人类大脑中,Kirschvink 等利用高灵敏度的超导量子干涉磁强计 SQUID 在干净的实验室环境里,在大范围的大脑组织中发现了亚铁磁物质,通过采用高分辨透射电子显微镜、电子衍射以及元素分析,辨认出从溶解了的大脑组织中分离出来的铁矿化粒子属于磁铁-赤磁铁矿家族范围,而且很多晶体的组织结构极其像那些在趋磁细菌和鱼身上的矿物,均为单畴晶体<sup>[12,13]</sup>。

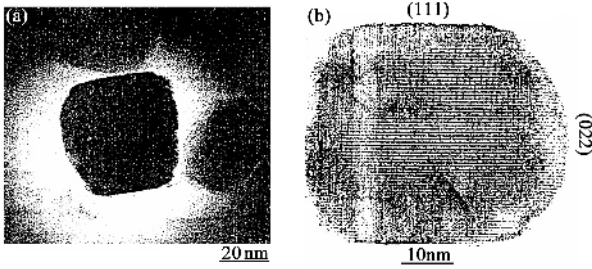


图5 (a)人类大脑中的磁性颗粒 (b)大脑中磁性颗粒的高分辨电子显微图像

生活在海洋中的软体动物——石鳖的成熟的主要横向牙齿中也充满了磁性  $Fe_3O_4$  颗粒。它在牙齿内以宽度约为 100nm、长度约为几个微米、沿着厚度方向互相堆积起来的长条片状形式存在。且每个长条片状磁性物质里面又含有许多单独的由非晶态物质分隔开来的纳米尺寸的磁铁矿  $Fe_3O_4$  小晶粒,具有沿厚度方向垂直向上的单畴磁畴结构<sup>[14]</sup>。

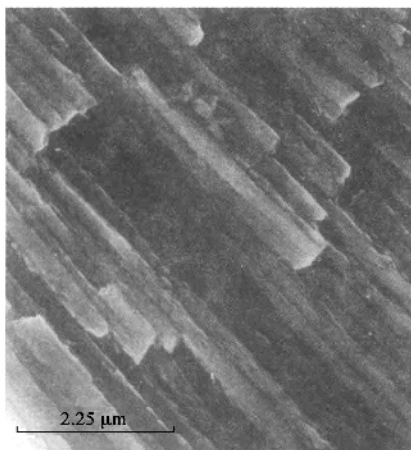


图6 用 SEM 观察到的石鳖牙齿中互相堆积、呈长条片状的磁性  $Fe_3O_4$  颗粒

生物体内的磁小体  $Fe_3O_4$  纳米颗粒,是在生物体内的囊泡中矿化而成的,受基因调控。基因对磁铁矿颗粒的成分、晶形、粒度、排列等实施了非常严格

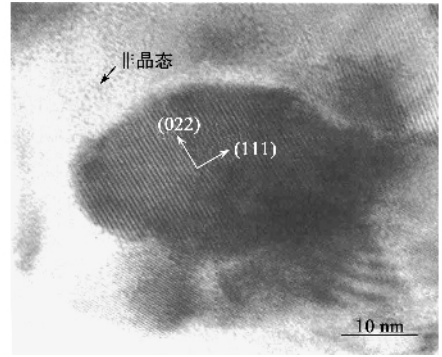


图7 用 HRTEM 观察的石鳖牙齿中的长条片状磁性  $Fe_3O_4$  的高分辨电子显微图像

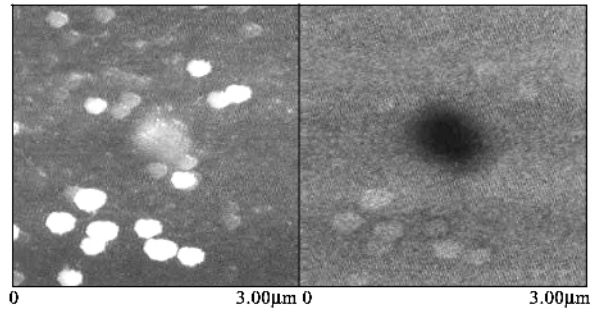


图8 用磁力显微镜(MFM)观察到的石鳖牙齿中的磁性  $Fe_3O_4$  颗粒的单畴磁畴结构

的控制,形成的  $Fe_3O_4$  大小均匀,形态相似,再者其外包裹有一层磷脂膜,能阻止  $Fe_3O_4$  颗粒聚集。并且磁性纳米微粒尺寸微小,具有磁性,遵守库仑定律,易受外部磁场的控制,具有较大的比面积,易被修饰。由于应用于生物技术的纳米颗粒需要苛刻的物理、化学以及药理学特性,因此,研究生物体内的磁性纳米颗粒的性能及它的生物合成方法,就可为生命科学和生物技术提供多种可能的应用,有着重大的意义<sup>[15]</sup>。

### 参 考 文 献

[ 1 ] 肖波,潘永信.地球物理学进展,2006,21(2):408 [ Xiao B, Pan Y X. Progress in Geophysics, 2006, 21(2):408 (in Chinese) ]  
 [ 2 ] 黄昆.固体物理学.北京:人民教育出版社,1979. 268 [ Huang K. Solid State Physics. Beijing: People's Education Publishing Company, 1979. 268 (in Chinese) ]  
 [ 3 ] 李文兵,周蓬蓬.现代化工,2006,26:322 [ Li W B, Zhou P. Modern Chemical Industry, 2006, 26:332 (in Chinese) ]  
 [ 4 ] Frankel R B. Hyperfine Interactions, 2003, 151/152:145  
 [ 5 ] Gould J L, Kirschvink J L, Deffeyes K S. Science, 1978, 201:1026  
 [ 6 ] Walcott C, Gould J L, Kirschvink J L. Science, 1979, 205:1207

- [ 7 ] Torres de Araujo F F , Pires M A , Frankel R B *et al.* Biophys. J. , 1986 , 50 : 385
- [ 8 ] Kirschvink S. Nature , 1997 , 390 : 339
- [ 9 ] Kirschvink J L , Kobayashi-Kirschvink A , Woodford B J. Proc. Natl. Acad. Sci. , 1992 , 89 : 7683
- [ 10 ] 姜伟 , 田杰生等. 中国农业科技导报 , 2007 , 9( 3 ) : 24 [ Jiang W , Tian J S *et al.* Journal of Agricultural Science and Technology , 2007 , 9( 3 ) : 24 ( in Chinese ) ]
- [ 11 ] 潘永信 , 邓成龙等. 科学通报 , 2004 , 49 : 2505 [ Pan Y X , Deng C L *et al.* Chinese Science Bulletin , 2004 , 49 : 2505 ( in Chinese ) ]
- [ 12 ] Yorke E D. J. Theor. Biol. , 1979 , 77 : 101
- [ 13 ] Kirschvink J L *et al.* Bioelectromagnetics Supplement , 1992 , 1 : 101
- [ 14 ] 钱霞 , 刘维 , 赵见高. 科学通报 , 2002 , 47 : 10 [ Qian X , Liu W , Zhao J G. Chinese Science Bulletin , 2002 , 47 : 10 ( in Chinese ) ]
- [ 15 ] 朱日祥 , 潘永信等. 科技导报 , 2006 , 24( 8 ) : 5 [ Zhu R X , Pan Y X *et al.* Science and Technology Review , 2006 , 24( 8 ) : 5 ( in Chinese ) ]

· 物理新闻和动态 ·

## 利用飞秒激光粉碎病毒

美国 Arizona 州立大学的 E. Dykeman 和 O. Sankey 教授与他们的同事 K. T. Tsen 博士 , 最近完成了一项新的实验. 他们利用飞秒量级的激光脉冲来粉碎病毒的壳体. 这种蛋白质壳体是用来包装病毒粒子的基因物质的. 粉碎壳体的工作原理是利用光波的频率来激发壳体的固有振动模式使其产生共振, 并让壳体破裂, 这样就能杀死病毒. 这个想法实际上是与用高频声波振破玻璃酒杯的道理是一样的. 但这种方法可替代现有的化学治疗方法, 因为化学治疗时除了杀死病毒外, 同时也破坏了人体的健康细胞; 另外在多次化学治疗后, 病毒体会发生变异来抵抗化疗. 所以用力学方法来粉碎病毒是一种更好的方式.

研究组利用飞秒激光脉冲所进行的实验表明, 大多数病毒壳体是由复杂的蛋白质所形成的, 它们能吸收部分激光脉冲, 然后产生振动导致壳体断裂. 由于能量的耗散, 剩余激光束的频率会产生下移. 利用这个性质就能精确地测定出病毒壳体的固有频率. 采用不同的分段的波长测试, 可以制定出各种病毒壳体的频谱. 现在他们已测定出随体烟草骨疽病毒壳体的固有频率为 60—90 GHz.

( 云中客 摘自 Physical Review Letters , 11 January 2008 )

## 乳状液中的水滴

两种不可溶的液体( 如油与水 ) 会组成乳状液, 这种乳状液体在食品、制药等工业中是极其常见的. 尽管这种乳状液已经使用了上百年, 但人们对它的成形机理并不太了解. 一般乳状液( 如沙拉酱等 ) 中都含有许多水滴, 水滴在乳状液中会连续地合并, 从而在乳液内形成一些“非混合”区域. 由于这个聚集过程是介于宏观与微观的尺度范围, 因此科学家们一直无法捕捉到水滴发生聚集的完整物理过程.

最近, 法国巴黎化学物理研究所的 N. Bremond , A. Thian 和 J. Bibette 三位科学家, 设计了一种微流体装置来研究在乳液中的成百上千个水滴是如何进行聚集与合并的. 他们的装置可在一秒钟内发射几百个直径约为  $10\mu\text{m}$  的水滴进入一个网络体, 网络体内布置了许多充满了油的可调节宽度的管道. 当水滴射入管道后, 它们会有序地向前移动; 当水滴移动到管道截面变宽处时, 就会发生水滴的碰撞, 这是因为管道变宽导致流速变慢, 这样, 后面的水滴就会撞击前面的水滴. 实验观察发现, 两个水滴在非常接近的瞬间, 水滴间由于相互排斥而会迅速分开, 随后又出现合并, 也就是说必须先分开, 然后才能合并. 为了能更精确地确定合并的物理过程, 研究组将网络中的管道进行了一点改变, 他们让管道截面有一个先变宽然后再变窄的过程. 实验结果显示, 水滴的合并与聚集总是出现先分离再合并的现象. 所以研究组认为, 两水滴的瞬间分离降低了两水滴间的流体压力, 造成了水滴的内部压力大于其周围压力, 从而形成爆破并克服了水滴的壁垒, 因此两水滴迅速地产生了合并. 由此可以推断出, 这种过程同样会出现在许多链式反应的过程中, 当有一对液滴合并时, 会带领其他液滴也发生迅速的合并过程, 因为第一对液滴合并后就会排开后面的液滴而降低它们之间的压力, 因而触发了连锁反应, 因而形成液滴链式结构. 因此三位科学家认为, 他们的研究结果将对与乳状液有关的工业提出一些新的思路.

( 云中客 摘自 Physical Review Letters , 18 January 2007 )