

纳米氩泡的分形特征

李盘林¹, 邓乘风¹, 王震遐², 朱志远²

(1. 苏州科技学院 应用物理系, 江苏 苏州 215009; 2. 中国科学院 上海原子核研究所, 上海 201800)

摘要: 在相同的实验条件下, 相继用 60KeV 的 Ni⁺ 和 Ar⁺ 离子 (剂量为 10^{18} ions/cm²) 辐照同一块高纯石墨片, 用高分辨透射电子显微镜 (HRTEM) 对包含 Ar 泡的碎片扫描得到 TEM 图像, 并对纳米 Ar 泡的结构形态进行了分形维数的计算, 为 $D_f \approx 2.36$ 。

关键词: 离子辐照; 氩泡; 分形维数

中图分类号: O488

文献标识码: A

文章编号: 1672-0687(2003)01-0026-04

1 引言

1997年, G.E.Gadd 等人发现并研究了曾被称为“世界上最小的气体柱”的充氩纳米碳管^[1]。最近, 由中国科学院上海原子核研究所王震遐等人利用不同荷能离子 Ni⁺ 和 Ar⁺ 相继辐照高纯石墨样品时, 发现含有 Ar 气泡的碳片。电镜观察表明, 包裹体呈球或椭球状, 其线度约为 100nm~1nm, 或更小, 分布在碳基片体内呈密堆的三维排布。对生成的纳米 Ar 泡的结构形态, 我们进行了分形维数的理论计算, 其分形维数为 $D_f \approx 2.36$ 。对此结果和多孔质、烟尘、病毒和超微粒等渗流体的计算结果比较, 在 $d=3$ 时的分形维数 D_f (渗流体) $\approx 2.1, 2.5$ ^[2] 二值之间。我们认为本文中的纳米氩泡的结构形态, 就其生成、生长模式的机理分析, 确与渗流模型一致, 这对研究纳米组装新的途径提供了理论上的阐释。

2 实验的简要描述

在电磁同位素分离器束流辐照靶室内 (真空度为 1.3×10^{-4} Pa), 先用能量为 60KeV 的 Ni⁺ (经 $\phi 10$ mm 限流孔) 注入, 束流强度为 $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, 辐照一块 $12 \times 15 \times 3 \text{mm}^3$ 的高纯 (光谱纯) 石墨, 辐照面积约为 75mm^2 , 总剂量为 1×10^{18} Ni⁺/cm²。注入结束后, 相隔一段时间, 用 60KeV 的 Ar⁺ 以相同的条件, 对已注过 Ni⁺ 的表面再辐照。注入实验完毕后, 刮下表面层材料, 置于 TEM 样品架, 滴乙醇使之均匀分散和固定。在 160KV 电压下, 用场发射透射电子显微镜初步定位。再用高分辨电镜 (HRTEM) 结合电子衍射 (ED) 和能量色散 X-射线 (EDX) 谱, 对产物进行测定, 以确定 Ar 泡区的组分和 Ar 泡基体的成分和结构^[3]。

图 1 给出了典型的含 Ar 泡碎片的亮场 TEM 图像。它清楚地显示出 Ar 泡的形态和大小的分布。

收稿日期: 2002-12-25

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (26010031)。

作者简介: 李盘林 (1941-), 女, 江苏苏州人, 教授, 主要从事核物理理论方面的工作。

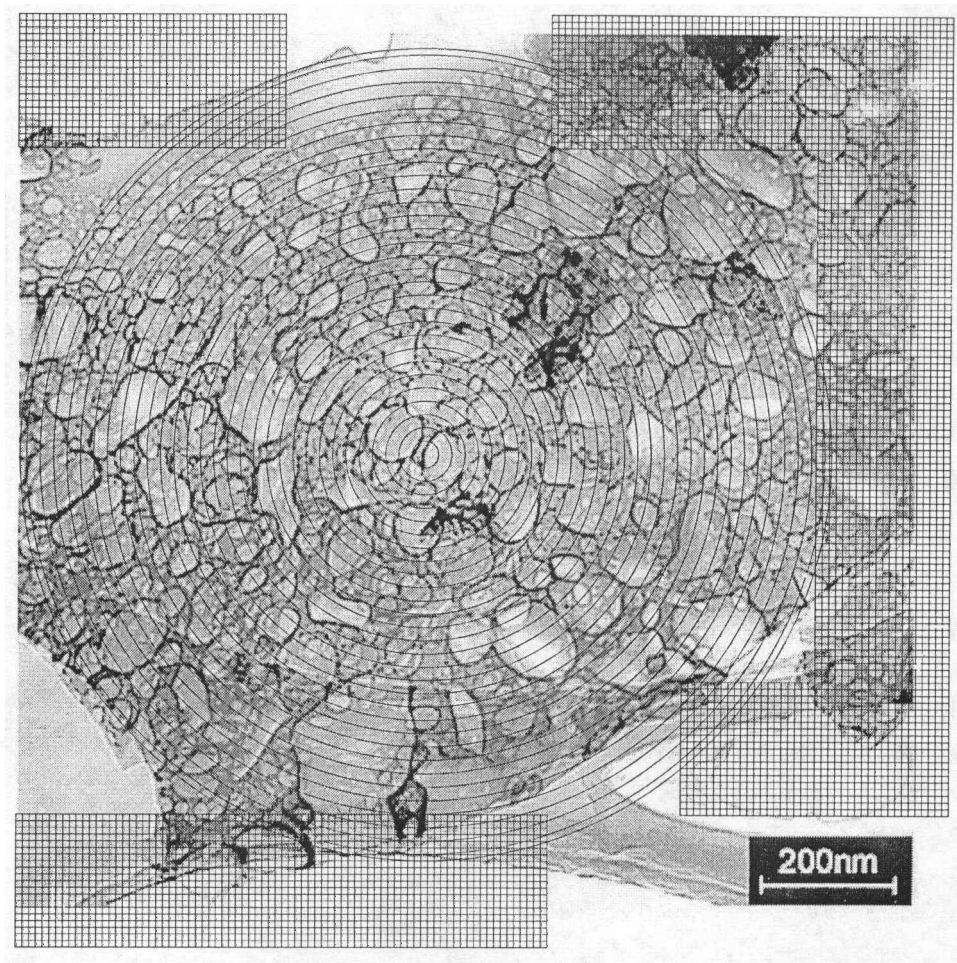


图1 典型的含Ar泡碎片的亮场TEM图像

3 对纳米氩泡结构的分形理论计算

众所周知,超微集团的形态取决于它的生长过程,或者说,取决于它的制备条件。在理论上,对于一种给定的生长过程可以近似的赋予一种生长模式,且每一种生长模式都会按照自己的法则建造具有稳定类型的几何外形、质量分布和键联结构的分形体。利用这些模式,就可以较深入地认识超微集团的几何形态和几何结构。

在一定的空间生长条件下形成的超微集团是自相似的。对于经过一段时间生长发展形成的超微集团的空间分布,在此分布上取一个中心点为圆心作一组同心圆,数出各圆中所包含的集团数 N ,可以判明 N 与 R (R 以 nm 为单位)之间存在着如下的关系:

$$D_j(R_i) = \frac{\log N(R_i)}{\log R_i},$$

D_j 即为该超微集团的空间分布的分形维数。

r/nm	N	lg r	lg N	Df
20	5.8	1.30103	0.763428	
40	14.7	1.60206	1.1673173	
60	53.7	1.7781513	1.7299743	
80	93.2	1.90309	1.9694159	
100	124.5	2	2.0951694	
120	178.1	2.0791812	2.2506639	1.91124274
140	331.3	2.146128	2.5202214	2.48664503
160	530.6	2.20412	2.7247672	2.33536615
180	750.7	2.2552725	2.8754664	2.57267314
200	1005.7	2.30103	3.0024685	3.01398237
220	1266.1	2.3424227	3.102468	3.23582832
240	1488.8	2.3802112	3.1728364	2.78796132
260	1722.4	2.4149733	3.236134	2.42522461
280	1995.8	2.447158	3.300117	2.21304134
300	2397.6	2.4771213	3.3797767	2.14268602
320	2783	2.50515	3.4445132	2.10195341
340	3292.3	2.5314789	3.5174994	2.27849764
360	3715.1	2.5563025	3.5699705	2.36212052
380	4187.6	2.5797836	3.6219652	2.42674308
400	4653	2.60206	3.6677331	2.30478017
420	5257.8	2.6232493	3.7208041	2.33947896
440	5870	2.6434527	3.7686381	2.24283529
460	6278	2.6627578	3.7978213	2.14034188
480	6675.8	2.6812412	3.8245033	1.99628263
500	7068.8	2.69897	3.8493457	1.87403382
平均值				2.35958592

$$Df = [\lg N(l) - \lg N(l-5)] / [\lg r(l) - \lg r(l-5)]$$

$$Df \approx 2.36$$

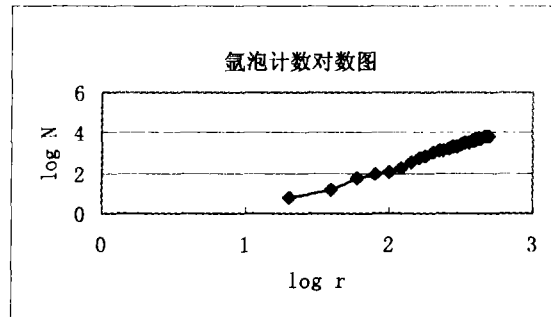
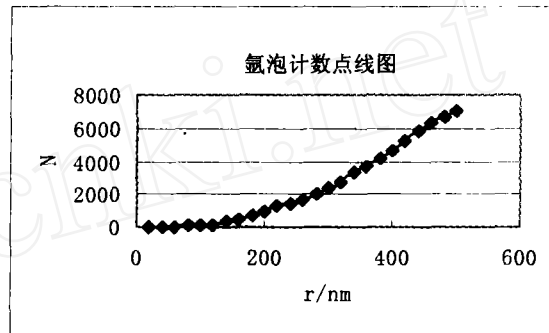
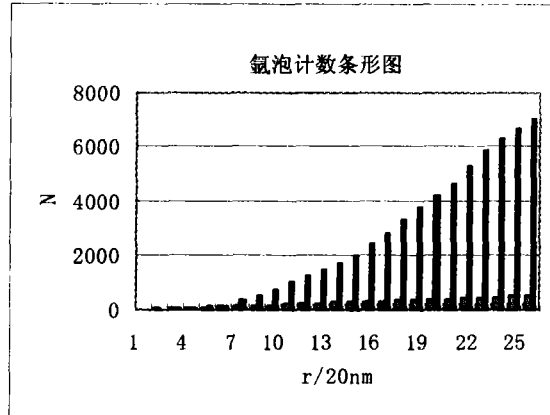


图2 纳米氩泡的分形维数

在图 1 所示的典型含 Ar 泡碎片的亮场 TEM 图像中, 按 20nm 间隔画出一组有 31 个同心圆。若令这 31 个同心圆中的第 i 个圆的半径为 R_i , 数出包含在这第 i 个圆内的 Ar 泡数 $N(R_i)$, 并利用第 k 个和第 l 个圆的数据由下式求出相应空间分布的分形维数 D_f :

$$D_f = \frac{\log N(R_l) - \log N(R_k)}{\log R_l - \log R_k}。$$

计算结果示于图 2 中。在实际计算中取 $l = k + 5$, 用逐差法处理数据, 取平均值得 $D_f \approx 2.36$ 。

4 结果与讨论

当应用渗流模型所描写的多孔介质、烟尘、病毒和超微粒等渗流体时, 计算得到它们的分形维数为: $d=2$ 时, $D_f \approx 1.89$; $d=3$ 时, $D_f \approx 2.1, 2.5^{[2]}$, 其中 d 为欧几里德 (Euclidian) 空间维度。将我们的计算结果与之相比较, 恰在渗流模型的 $d=3$ 时 $D_f \approx 2.1, 2.5$ 二值之间。

从实验过程中 Ar 泡生长模式分析, 在该实验条件下, 先由 Ni^+ 离子注入, 轰击碳靶的表面, 从而在靶的表面层中产生许多空穴, 乃至由一些数量的空穴聚集成空洞 (cavities), 致使表面层形成多孔状结构。随后又用 Ar^+ 离子辐照, 这些形态各异空穴、空洞, 俘陷氩气形成微气泡 (bubbles) 核, 且在 Ar^+ 的连续轰击下, 微气泡核再聚集发展成微气泡, 逐步生长成纳米尺寸的 Ar 泡, 恰与渗流模型的生长模式相吻合。

另一方面, 从图 1 可以明显看出包裹体呈球或椭球状, 分布呈密堆的三维排布。对一些典型分形体的分形维数 D_f 的计算曾指出^[4]: 分形体的质量空间分布愈密, 分形维 D_f 的值愈高, 但是 D_f 的值始终应低于分形体所嵌的欧氏空间的维度 d 。我们的计算结果 $D_f \approx 2.36 < d=3$ 。

对于氩泡结构的分形特征的计算, 即对泡的形状因子的计算, 正在进行中。并且我们还将采用匀压近似下的流体力学方程组来计算泡内部的运动情况。

以上的讨论充分说明了这种由离子轰击碳基体形成的、嵌于介质中并具有纳米尺寸的 Ar 泡是具有自相似的分形体。通过理论计算, 分析讨论了在一定条件下, 采用相继两次辐照的方法获得的氩泡这种具有自相似的分形体的结构形态, 对新材料的制备、新结构的实现及自组装纳米材料的控制 and 设计方面具有重大的意义和实际的应用价值, 并开创了非化学自组装的一种新途径, 还可以设计和制备出诸如锂泡、氦-氩泡等极具应用前景的纳米级新材料。

参考文献:

- [1] Gadd G E, Blackord M, Moricca S et al. Science[M]. 1997, 277: 933.
- [2] Liu S H. Fractals and their Applications in Condensed Matter Physics[J]. Solid State Physics, 1986, 39: 216.
- [3] 王震遐, 余礼平, 张伟, 等. 离子辐照石墨生成的纳米尺寸 Ar 泡[J]. 高能物理与核物理, 2002, 26(12): 1316-1319.
- [4] 邓昭镜, 孙强, 王前, 等. 超微粒与分形[J]. 西南师范大学出版社, 1993.3.

(下转第 45 页)

A Direct Method to Prove the Condition of Cerenkov Radiation $v > c/n$

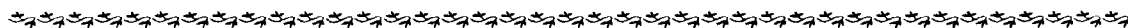
QIAN Xian-you

((Department of Electronics, USTS, Suzhou 215009, China)

Abstract: this paper identifies that $v > c/n$ is an essential condition of Cerenkov radiation according to the Law of conservation momentum and energy.

Key words: Cerenkov radiation; radiation condition; velocity of phase

(责任编辑: 经朝明)



(上接第 29 页)

The Fractal Characteristics of the Nano-Ar-bubbles' Structure

LI Pan-lin¹, DENG Cheng-feng¹, WANG Zhen-xia², ZHU Zhi-yuan²

(1. Department of applied physics, USTS, Suzhou 215009, China;

2. Institute of Nuclear Research, Academic Sinica, Shanghai 201800, China)

Abstract: In the same experimental condition, the same piece of high-pure carbon is irradiated one after another by Ni^+ and Ar^+ ions with 60 KeV. The TEM pictures of the fragment containing Ar-bubbles are obtained by HRTEM scanning. The fractal dimension of the nano-Ar-bubbles' structure form is calculated. The result is: $D_f \approx 2.36$.

Key words: ion radiation; Ar-bubble; fractal dimension

(责任编辑: 王 红)