文章编号：1000-5773(2006)02-0179-04

人造金刚石合成中黑色低磁金刚石的研究*

彭 放，张美光，陈 超，王江华，孙 刚，罗相捷

（四川大学原子与分子物理研究所，四川成都 610065）

摘要：通过对合成金刚石的原材料和合成产物——石墨、$Ni_{70}Mn_{25}Co_5$ 触媒、普通人造金刚石、黑色人造金刚石、NiMnCoC 熔体的磁化率测试，以及对黑色人造金刚石和普通人造金刚石破碎断面扫描电镜的对比分析，认为黑色人造金刚石形成低磁性的原因是由于合成过程中温度偏高、压力偏低，生长的金刚石质量差、裂纹多。晶体内夹杂了很多石墨与触媒包裹体，同时金刚石表面与金刚石晶体内的触媒包裹体之间形成贯穿性的裂纹。在金刚石化学提纯处理过程中，金刚石晶体内的铁磁性触媒包裹体杂质被通过裂纹进入的酸除去。因而在检测金刚石磁性时，黑色金刚石的磁性很小，呈弱磁性。

关键词：黑色人造金刚石；磁性；包裹体

中图分类号：O521 **文献标识码**：A

1 引 言

众所周知，采用 Fe、Ni、Mn、Co 及合金作触媒合成出的人造金刚石具有铁磁性，磁性的强弱与人造金刚石晶体中的包裹体杂质有密切关系[1]。一般来说，磁性越弱的金刚石抗压强度越高，磁性越强的金刚石抗压强度越低；金刚石的磁性对其热稳定性也有很大的影响，磁性越强，其热稳定性越低，反之磁性越弱，其热稳定性越高，质量越好[2]。这一特性是目前利用磁性的方法对人造金刚石进行分级、优选的基础[3]。但是在分选的实际工作中却发现，无论是六面顶压机还是两面顶压机合成的人造金刚石中，有一类晶形差、抗压强度低的黑色人造金刚石的的磁性很低，其磁性与优质低磁金刚石的磁性差不多。文献[4]阐述了这种劣质黑色金刚石主要产生在金刚石合成区域中的高温碳化区或低温劣晶区。而探索这种劣质黑色金刚石低磁性的原因却未见报道。通过对合成人造金刚石的相关材料的磁性的测试和从破碎人造金刚石的断面的扫描电镜分析来研究这种黑色低磁金刚石，这对加深金刚石磁性杂质的认识，对优质金刚石的合成、分选都具有重要意义。

2 实 验

样品的比磁化率测试：从普通合成工艺合成出的人造金刚石中挑选出黑色金刚石和普通金刚石；合成金刚石的原材料 $Ni_{70}Mn_{25}Co_5$ 触媒、石墨；以及经高温高压合成后除去金刚石后的 NiMnCoC 熔体产物。用 WCF-2 多用磁性分析仪分别测试它们的比磁化率。测试结果见图 1、图 2。

将普通金刚石和黑色金刚石在金刚石抗压强度测试仪上进行破碎，分别用扫描电镜观察金刚石破碎断面上的包裹体形貌，见图 3、图 4。

3 结果与分析

由图1和图2可见，NiMnCoC熔体具有很强的铁磁性；普通人造金刚石的铁磁性次之；$Ni_{70}Mn_{25}Co_5$

* **收稿日期**：2005-01-06；**修回日期**：2005-04-15

作者简介：彭 放(1960—)，男，博士，副教授，主要从事高压物理与超硬材料研究. E-mail：danningq8888@yahoo.com.cn

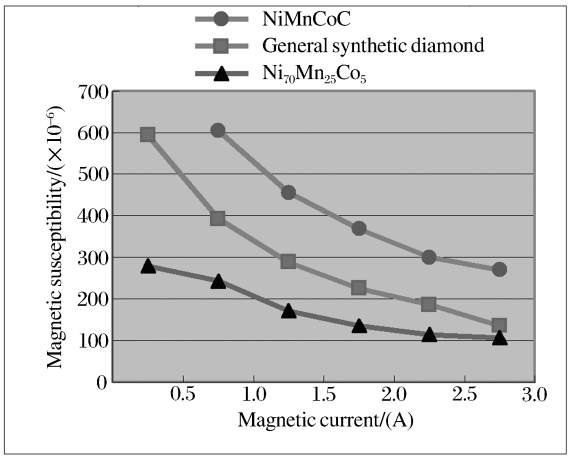


图 1 普通金刚石、NiMnCoC 熔体、$Ni_{70}Mn_{25}Co_5$ 触媒比磁化率

Fig. 1 The magnetic susceptibility of general synthetic diamond, $Ni_{70}Mn_{25}Co_5$, NiMnCoC

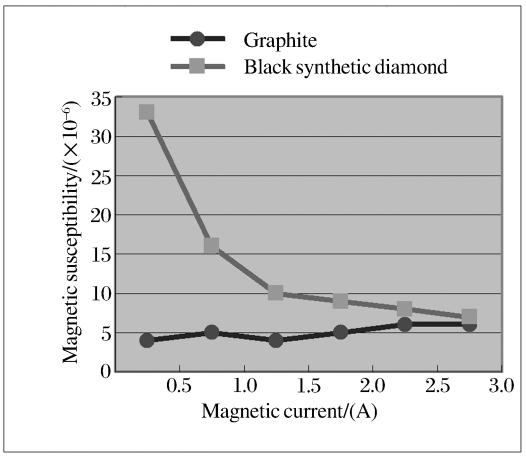


图 2 石墨与黑色金刚石比磁化率

Fig. 2 The magnetic susceptibility of graphite, black synthetic diamond

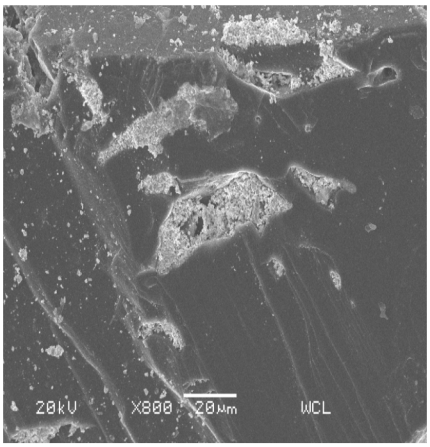


图 3 普通金刚石破碎断面的 SEM 照片

Fig. 3 SEM photograph of the fractures in general synthetic diamond

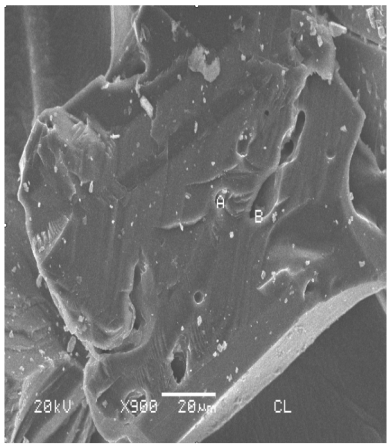


图 4 黑色金刚石破碎断面的 SEM 照片

Fig. 4 SEM photograph of the fractures in black synthetic diamond

的铁磁性较弱；石墨为抗磁性；黑色人造金刚石有很弱的铁磁性。黑色人造金刚石磁化率与石墨的磁化率为同一个数量级，较弱。与 NiMnCoC 熔体、普通人造金刚石、$Ni_{70}Mn_{25}Co_5$ 触媒相比，要低一个数量级。在金刚石合成过程中，原材料和合成产物的磁性差别与其成分和结构有密切的关系。纯净的金刚石和石墨具有抗磁性[5]。$Ni_{70}Mn_{25}Co_5$ 合金是由第Ⅶ和第Ⅷ族元素组成的合金，具有铁磁性。在合成过程中碳的渗入而形成碳的饱和熔体 NiMnCoC。由于碳原子的渗入，使其具有比 $Ni_{70}Mn_{25}Co_5$ 更强的铁磁性。由此可见，人造金刚石具有的铁磁性特征主要是由晶体中含有的 NiMnCoC 包裹体产生的。普通人造金刚石具有与 NiMnCoC 相类似的较强的铁磁性。而所测试的黑色人造金刚石的铁磁性很弱，这表明黑色人造金刚石晶体中含 NiMnCoC 包裹体很少。

由于样品断面是在定向压力作用下破碎的，其断面是晶体中包裹体杂质较多部位。从图 3 中可见：普通人造金刚石断面上存在着大小不同的包裹体区域，区域中有石墨和 NiMnCoC 成分[6]，其中 NiMnCoC成分使普通人造金刚石具有较强的铁磁性。包裹体中 NiMnCoC 成分越多，人造金刚石的铁磁性越强。

由图 4 可见:在黑色人造金刚石的破碎断面上看不见包裹体杂质,只有许多凹坑,这些凹坑一般都是贯穿性的,坑内没有任何物质。图 4 中凹坑的数目明显比图 3 中包裹体的数目多。我们认为,在黑色人造金刚石晶体内具有较强铁磁性 NiMnCoC 的成分很少,因此黑色人造金刚石的铁磁性很弱。从人造金刚石合成的实践经验发现,黑色人造金刚石一般出现在人造金刚石生长区的劣晶区。在劣晶区,金刚石生长速度过快,金刚石的晶形非常差,晶体上有很多裂纹。这种金刚石中夹杂了大量的石墨和 NiMnCoC 包裹体。由于晶体的裂纹多而深,且往往由晶体表面贯穿到包裹体。在金刚石后期提纯的除掉触媒金属和石墨的化学处理过程中,酸和强氧化剂通过晶体裂纹进入包裹体与 NiMnCoC 和石墨反应,使其被除掉,留下没有物质的空腔。这样使黑色金刚石中只有少量的铁磁性 NiMnCoC 杂质,这种黑色金刚石的铁磁性很弱。由于石墨较稳定,氧化剂不容易将石墨除干净,所以金刚石呈黑色。

4　结　论

(1) 人造金刚石的铁磁性磁化曲线与合成金刚石的原材料的磁化曲线有很大的区别,这主要是由人造金刚石晶体内的反应生成物 NiMnCoC 杂质产生的。

(2) 黑色人造金刚石的铁磁性很弱,是由于黑色人造金刚石中 NiMnCoC 成分的包裹体杂质较少。

(3) 在人造金刚石合成过程中,黑色人造金刚石晶体内有大量 NiMnCoC 成分的铁磁性包裹体杂质。由于黑色人造金刚石结晶质量差,其裂纹贯穿与包裹体相通,在金刚石后期提纯的酸处理过程中,NiMnCoC 杂质被除掉。因而黑色人造金刚石的磁性呈弱磁性。

References:

[1] Bhaaruth-Ram K, Hansen M F. Magnetic Phase of the Fe-Containing Inclusions in Synthetic Diamond Grits [J]. Physica B, 2002, 321: 29-36.

[2] Li H D, Zhang H T, Qing X K. Influence of Diamond Magnetism on Heat Stability [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 1997, 2: 98. (in Chinese)
李亨德,张宏涛,覃晓康. 人造金刚石的磁性对其强度及热稳定性的影响 [J]. 金刚石与磨料磨具工程,1997,2:98.

[3] Luo Z P. The Progress of Magnetic Separation Technique of Diamond [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2001, 2: 51-52. (in Chinese)
罗中平. 人造金刚石磁分离技术现状与研究进展 [J]. 金刚石与磨料磨具工程,2001,2:51-52.

[4] Xiao Y J. Methead on Clearing away Black Diamond [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 1996, 3: 25. (in Chinese)
肖耀军. 几种黑色金刚石的消除办法 [J]. 超硬材料工程,1996,3:25.

[5] 饭田修一. 物理学常用数表 [Z]. 张质贤,译. 北京:科学出版社,1981.

[6] Luo X Y, Huang M. Analysis on the Pattern and Composition of the Residual Metal Catalyst on Diamonds' Fracture Surface [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2002, 5: 25-27. (in Chinese)
罗锡裕,黄　漫. 金刚石断面残留触媒的分析 [J]. 金刚石与磨料磨具工程,2002,5:25-27.

Study on the Synthesized Black Low-Magnetism Diamond

PENG Fang, ZHANG Mei-Guang, CHEN Chao,
WANG Jiang-Hua, SUN Gang, LUO Xiang-Jie

(*Institute of Atomic and Molecular Physics, Sichuan University, Chengdu* 610065, *China*)

Abstract: Based on the testing of the magnetic susceptibility of the raw materials and the final products: graphite, $Ni_{70}Mn_{25}Co_5$, general diamond, black diamond and melting NiMnCoC in the synthesis of diamond and the analyzing of the fracture surface of black diamond and general diamond by the Scan-

ning Electron Microscope, it is found that the magnetism of the synthetic diamond is caused by NiMnCoC inclusions. There are many inclusions in the fracture surface of general diamond, but there are no inclusions in the fracture surface of black diamond, merely many cavities existed. The low magnetism existing in black diamond is from the poor quality and more-cracked diamond caused by higher temperature and lower pressure in the synthesis of diamond. A lot of cracks exit between diamond surface and inclusion. Because the magnetic catalyst inclusions are removed by acids through the cracks during the process of chemical treatment, the black diamond has low magnetism.

Key words: black synthetic diamond; magnetism; inclusion

《高压物理学报》征稿简则

《高压物理学报》是我国高压物理领域唯一的专业性学术刊物，在国内外公开发行。《高压物理学报》力求及时报道高压物理学科基础理论和应用研究方面具有创新性、高水平、有重要意义的研究成果，读者对象为国内外科技工作者。《高压物理学报》征稿内容为动态及静态高压技术，人工合成新材料，高温高压下材料的力学、光、电、磁等特性以及物质微观结构的研究，动态及静态高压研究中的测试技术，高温高压下的相变，高温高压物态方程等。《高压物理学报》接受中、英文稿件。

来稿应论点明确、数据可靠、逻辑严密、文字简练、图表清晰。每篇论文的篇幅应在6 000～12 000字以内，论文格式请参考近期出版的《高压物理学报》。请使用中华人民共和国法定计量单位。第一作者应确保全体作者同意文章署名，请提供第一作者、通讯作者简介(姓名、出生年、性别、职称、学位、研究方向等)，以及所有联系方式(通信地址、邮政编码、电话号码、传真、电子邮箱等)，以备联系。请注明论文(工作)的资助项目(资助项目名称和批准号)，简要介绍工作背景和论文意义。来稿中所有图题、图注、表题、表注均为中、英文对照，图、表中的文字一律用英文。来稿一式三份。为缩短邮寄时间，编辑部建议作者使用电子邮件投稿(gaoya@caep.ac.cn 或 gywl@chinajournal.net.cn)。

自1987年创刊以来，《高压物理学报》取得了较大的成就。2001年，《高压物理学报》被科技部和国家新闻出版总署评为“中国期刊方阵”双效期刊。国际主要检索系统“EI Compendex”和“CA”一直收录《高压物理学报》文章。由北京高校图书馆期刊工作研究会和北京大学图书馆编著的《中文核心期刊要目总览》连续四版把《高压物理学报》列为物理学类核心期刊(北京大学出版社，1992年、1996年、2000年、2004年)。

《高压物理学报》一贯秉承服务科学、服务读者、服务作者的办刊理念，慎重对待每一篇来稿，尊重作者劳动。优秀稿件享有快速发表通道，重大创新性成果可在3个月甚至更短时间内刊出。

重点注意事项

▲ 中英文摘要　中、英文摘要一定要仔细斟酌，英文摘要的质量直接决定文章能否被EI Compendex收录。摘要千万不要泛泛而谈，语言要简练，应有具体内容。要求：(1) 拥有与论文同等量的主要信息，应重点包括4个要素：即研究目的、方法、结果、结论等，结果、结论是最重要的。(2) 以提供论文梗概为目的，不得评论、解释论文内容。摘要叙述要完整，清楚，简明。《高压物理学报》要求中文摘要在200～400个字之间，英文摘要不少于120个实词。为便于EI Compendex以及国外其它数据库收录，英文摘要中尽量避免特殊字符(各种数学符号、上下脚标及希腊字母)及由特殊字符组成的数学表达式；第一句不要与英文题名重复；尽量用短句子并避免句形单调；用过去时态叙述主要工作，用现在时态叙述结论，尽量用主动语态代替被动语态。

▲ 参考文献　科技论文必须引用参考文献，《高压物理学报》要求作者应充分著录参考文献，并尽量引用近期国内外文献，采用“顺序编码制”著录。中文参考文献必须附英译文，著录项目应齐全。

▲ 版权与稿酬　《高压物理学报》已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据库、中文科技期刊数据库、中国期刊网、数字化科技期刊群、台湾中文电子期刊服务——思博网(CEPS)等。凡经本刊录用的稿件，作者便自动将光盘版和网络版出版权转让给《高压物理学报》编辑部，编辑部不再另行通知。来稿一经发表，即付稿酬(包括光盘版和网络版稿酬)。

来稿请寄：四川绵阳919信箱110分箱《高压物理学报》编辑部，邮政编码：621900

电子邮件：gaoya@caep.ac.cn；gywl@chinajournal.net.cn (投稿、征订、咨询)

电　　话：(0816)2490042；传真：(0816)2282695

《高压物理学报》编辑部