



# 大别山南部天然碳硅石

徐树桐<sup>1</sup>, 吴维平<sup>1</sup>, 肖万生<sup>2</sup>, 张青<sup>3</sup>, 陈晶<sup>4</sup>, 季寿元<sup>5</sup>,  
张勇<sup>1</sup>, 刘贻灿<sup>6</sup>

(1. 安徽省地质科学研究所, 安徽合肥 230001; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640;  
3. 安徽省实验地质科学研究所, 安徽合肥 230001; 4. 北京大学物理学院, 北京 100871; 5. 南京大学地球  
科学学院, 江苏南京 210093; 6. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 安徽合肥 230026)

**摘要:**根据1975年的矿点检查报告,在大别山南部董家山蛇纹岩体的人工重砂和岩石薄片,发现确有天然碳硅石存在。大部分碳硅石单晶为六方板状,一部分为不规则形,最大粒径 $450\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$ ,一般 $250\mu\text{m}\times 150\mu\text{m}$ 。薄片中的粒径较小。单晶的拉曼光谱位移峰值稳定,薄片中的碳硅石的拉曼位移峰也都在误差范围内。单晶以二轴晶(+)为主,部分为一轴晶(+),薄片晶体几乎都为二轴晶(+)。虽然天然碳硅石可以产出于任何岩石中,但是原位的天然碳硅石只见于陨石和金伯利岩中,本文发现的很可能是首例地球蛇纹岩中的原位天然碳硅石。天然碳硅石与人工合成的碳化硅在结晶行为、光学性质和红外光谱方面有明显不同,成分也有差异,但拉曼光谱虽有差别却不明显。由于碳硅石与金刚石有类似的四面体方向 $\text{sp}^3$ 异化键和相同的滑动面,可能有类似的变形条件。根据碳硅石有晶内变形,推测其形成于 $\geq 300\text{ km}$ 的深度,这对认识大别山南部构造演化有重要意义。

**关键词:**天然碳硅石;大别山南部;矿物学;董家山蛇纹岩

中图分类号:P578;P575.4 文献标识码:A 文献编号:1000-6524(2006)04-0314-09

## Natural moissanite from southern Dabie Mountains

XU Shu-tong<sup>1</sup>, WU Wei-ping<sup>1</sup>, XIAO Wan-sheng<sup>2</sup>, ZHANG Qing<sup>3</sup>, CHEN Jing<sup>4</sup>, JI Shou-yuan<sup>5</sup>,  
ZHANG Yong<sup>1</sup> and LIU Yi-can<sup>6</sup>

(1. Anhui Institute of Geology, Hefei 230001, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. Experiment Institute of Anhui Province, Hefei 230001, China; 4. School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China; 5. Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 6. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** Based on an ore-spots investigation report by No. 311 Geological Party, the authors found some natural moissanites in both artificial heavy sands and thin-sections from the Dongjiashan serpentinite in south Dabie Mountains. The single crystals from the artificial heavy sands are mostly hexagonal, partly irregular and occasionally rhombohedral. The crystals are commonly  $250\mu\text{m}\times 150\mu\text{m}$  in size, with the largest one being  $450\mu\text{m}\times 100\mu\text{m}$ . Some relatively small moissanites were found in thin sections. The Raman shifts of moissanites both as single crystals and as crystals in thin sections are typical and stable. Natural single crystal moissanites are

收稿日期: 2006-02-17; 修订日期: 2006-05-19

基金项目: 国家973专项资助项目(2003CB716500); 中国大陆科学钻探工程科学研究(2001CCB00900); 国家自然科学基金重大基金资助项目(40399104); 国家自然科学基金主任基金资助项目(40542012); 南京大学内生金属矿床机制研究国家重点实验室资助项目

作者简介: 徐树桐(1929-), 男, 教授, 主要从事大别山地质研究工作。

mostly biaxial (+), and subordinately uniaxial (+). However, almost all the moissanites in thin sections are characterized by biaxial crystals (+) with the 2E up to  $>20^\circ$ . Although the natural moissanites are considered to be existent in any rocks, the autochthonous natural moissanites can only be found in some kimberlites and meteorites. The moissanite reported here is probably the first occurrence in serpentinites. As both moissanite and diamond have similar tetrahedrally oriented  $sp^3$  hybrid bonds and identical glide planes, the behavior of moissanite under stress should be comparable with that of diamond. It is thus considered that the primary moissanite might have been formed at the depth of  $\geq 300$  km, and that it is very important to understand the tectonic evolution of its host rock.

**Key words:** natural moissanite; southern Dabie Mountains; mineralogy; Dongjiashan serpentinite

天然碳硅石是 Henri Moissan 于 1893 年在陨石中发现并以其姓名命名的矿物。由于 Henri Moissan 证明他从未用过人造 SiC 制备样品,从而消除了有人造 SiC 卷入的质疑。随后在陨石(Bernatovich *et al.*, 1957; Tang *et al.*, 1989) 金伯利岩(Leung *et al.*, 1990, 1996; Mathez *et al.*, 1995)及其他不同类型岩石中都发现了天然 SiC(Kaminskiy, 1969; Lyakhovich, 1980)。但作为原生的天然 SiC 却只见于陨石和金伯利岩中,见于蛇纹岩中者未见报道。由于天然 SiC 的形成需要很强的还原环境,因而一直是岩石学家感兴趣的前沿课题,同时因为很难将人造 SiC 和天然 SiC 相区别,又使这项研究具有一定难度。目前对天然 SiC 形成的温压条件尚无系统研究(除技术原因外(与人造 SiC 有很多相似性),主要原因可能是很难取得所需的大量原位天然 SiC 样品。已往研究认为,由于天然 SiC 可以产出于任何岩石中,所以并不具有指示温度压力和构造背景的特殊意义,也有人指出,不同类型 SiC 有不同的成因,但主要意见都认为原位天然 SiC 特别是  $\alpha$ -6H 和 R 型 SiC 都是幔源的,立方晶系的  $\beta$ -SiC 则可能是壳源的(Lyakhovich, 1980)。本文将人工合成的 SiC 称为碳化硅(silicon carbide),称天然 SiC 为碳硅石(moissanite)。

据前人资料,天然碳硅石有  $\alpha$  和  $\beta$  两种类型: $\alpha$  型为六方和三方晶系; $\beta$  型为立方晶系,形成温度较低,并随着温度、压力的增大而转变为  $\alpha$  型。但是由于原生的天然碳硅石只见于陨石和金伯利岩中并常作为金刚石的包体产出,有时与金红石成交错结构,常见有晶内的塑性变形(弯曲、细纹理、波状消光、二轴晶化等),与金刚石有类似的四面体方向  $sp^3$  异化键和相同的滑移系(当压力为 10 GPa 时,温度必须

高于 1 000 $^\circ$ C,金刚石才会发生晶内变形),因而认为具有上述晶内变形的原生天然碳硅石应当是高温高压条件下的产物(Bauer *et al.*, 1963)。有限的实验资料表明,形成碳硅石的温压条件为:约 6 GPa, 1 430~1 500 $^\circ$ C(Varshavskiy and Shulytyakov, 1967; Bokii *et al.*, 1968)。在压力为 10 GPa、温度  $> 1 000^\circ$ C 时金刚石才会发生晶内变形计算(Weidner *et al.*, 1994),天然碳硅石应当是形成于  $> 300$  km 深处的矿物。按照“金伯利岩来源于过渡带石榴石岩的部分熔融”的理论来推算,天然碳硅石的形成压力应为 12~13 GPa,相当于上下地幔过渡带的压力(Leung *et al.*, 1990, 1996)。另外,原生天然碳硅石中含有的不同类型包体,也是研究壳-幔作用过程可靠信息的宝贵标本。

碳化硅由于其高硬度、高热稳性、耐电击穿以及抗腐蚀性,而受到材料科学工作者的广泛关注,但宝石级和工业级的碳化硅完全靠人工合成。人工合成的碳化硅由于结晶性能不好而使其用途受到限制(杨晓云等, 1998)。与人工合成的碳化硅相反,董家山蛇纹岩中的大部分碳硅石都为良好的单晶而不是各种多型的连生体,因此可能有潜在的经济意义而值得进一步研究。关于人造碳化硅与天然碳硅石的碳同位素是否有所不同,目前有两种意见:有人认为幔源的天 然碳硅石的碳同位素  $\delta^{13}C$  应当低于人造碳化硅(Tang *et al.*, 1989; Leung *et al.*, 1990),但也有人认为并无明显差异(Di Pierro *et al.*, 2003),因此这也是有待进一步研究的问题。

根据 1975 年矿点调查报告<sup>①</sup>提供的线索,笔者在大别山南部宿松群范围内的董家山蛇纹岩体中,发现确有天然碳硅石存在。为保证样品的可靠性,在处理董家山蛇纹岩体的人工重砂和岩石薄片时,

① 安徽省地质矿产局 311 地质队, 1975. 宿松县董家山蛇纹岩矿勘探报告(内部资料)。

所用机器都经过严格清洗,制薄片的磨料用刚玉粉并专备磨片机,排除了人工碳化硅混入的可能,并在此基础上进行了拉曼光谱、红外光谱和扫描电镜分析。董家山蛇纹岩体中的天然碳硅石不但是岩体形成过程的温压指示矿物,也为进一步研究本区壳-幔作用过程提供了难得的样品,为进一步建立天然碳硅石与人工碳化硅的有效鉴别标志提供了可靠的样本。另外,在深入研究董家山蛇纹岩体中原生天然碳硅石的基础上,如果今后的研究工作能证明带内其他超基性岩中也有原生天然碳硅石或其他类似的标志矿物的存在,那么,将整个宿松群作为扬子大陆低压俯冲盖层的传统看法必须重新考虑。也许,这个基性-超基性岩带代表一个重要的构造带,两侧是两个构造背景完全不同的构造岩石单位,而宿松群应该解体,进而对大别山几何结构和运动学特征以及有关的找矿方向也需要重新认识。因此,对董家山蛇纹岩中原生天然碳硅石进行深入研究,不但有

非常重要的理论意义,同时也有重要的实用意义。

### 1 大别山南部天然碳硅石的产出

董家山蛇纹岩体位于大别山南部宿松群的范围(图 1),已经由钻探证明是无根的透镜体,部分出露地表,近东西向分布,长 1 440 m,宽 200~400 m,钻探厚度 100~150 m,与底部大理岩为构造接触。除去含碳硅石的董家山蛇纹岩体外,该区还有一系列基性和超基性岩体,沿北西西方向分布(图 1),这些岩体以往都归入宿松群,并作为扬子大陆俯冲盖层的一部分(Maruyama, 1994; Wang and Cong, 1996; Faure *et al.*, 1999; Xu *et al.*, 2005)。虽然也有少数人将其作为构造混杂岩带(吴维平等, 2002; Xu *et al.*, 2005);但是,也只认为它是次要的、处于宿松群范围内的、只经过低压变质作用的构造带。刘雅琴等(1999)曾认为其附近的蓝晶石英岩

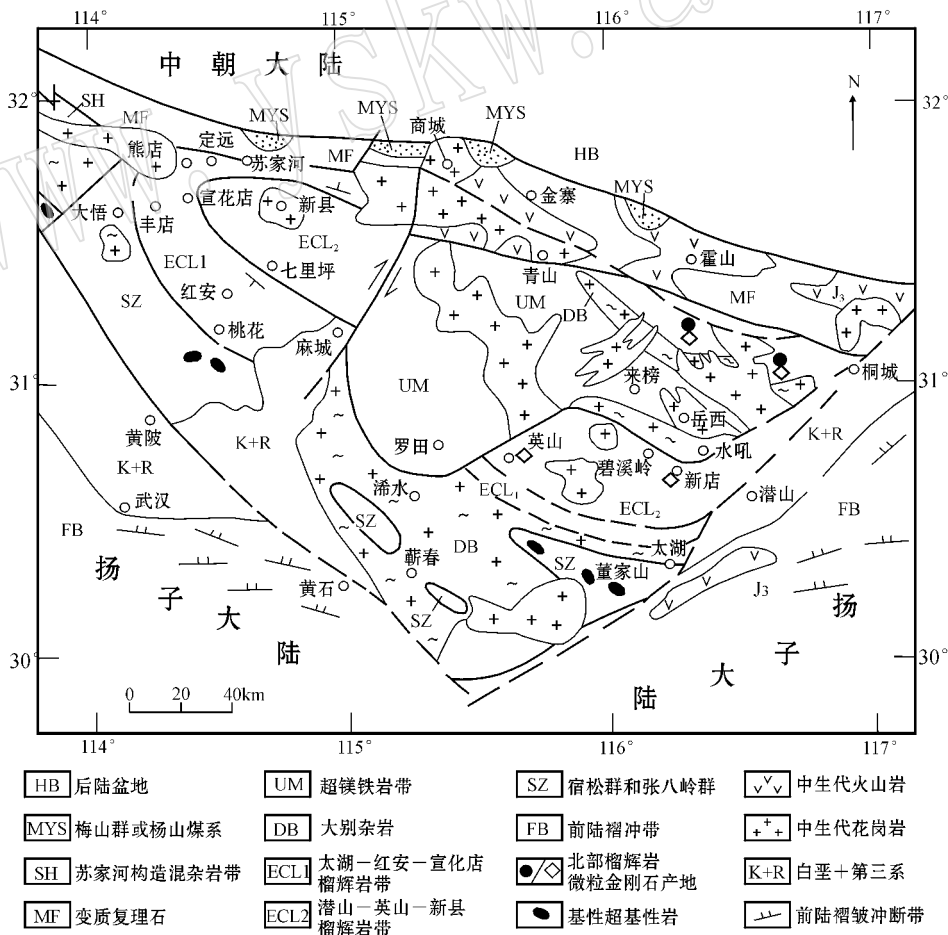


图 1 大别山地质略图 [据徐树桐等(2005)简化]

Fig. 1 The geological map of the Dabie mountains (simplified after Xu Shutong *et al.*, 2005)

经历过超高压变质作用但并未涉及含碳硅石的蛇纹岩本身。张国伟等(2004)曾推测这个基性-超基性岩带是他所说勉-略构造带的东延部份,但未做具体描述。

据前人资料<sup>①</sup>,董家山蛇纹岩主要矿物成分为叶蛇纹石,局部含少量胶蛇纹石和纤维蛇纹石,可能是橄榄石的退变产物。次要矿物有滑石、透辉石、透闪石、绿帘石、绿泥石、阳起石、水镁石、蛋白石、玉髓等大部为次生或退变产物,残留的橄榄石、楣石、石榴

石、碳硅石以及金属矿物有磁铁矿、铬铁矿、黄铁矿等应为原生组合。此外,还发现有斜锆石、金红石或锐钛矿、微粒金刚石和自然金,也应是原生组合的成员。其中斜锆石、金红石或锐钛矿、微粒金刚石都已由拉曼光谱证实,自然金则根据显微镜的观察结果确定。原岩可能为橄榄岩。根据矿物组合,碳硅石应是原生的。蛇纹岩的化学成分由安徽省实验地质研究所用经典方法完成的。根据矿物组合和化学成分(表1)认为董家山蛇纹岩应是富镁的幔源岩石。

表1 董家山蛇纹岩的化学成分

 $w_B/\%$ 

Table 1 Chemical composition of the Dongjiashan serpentinite

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	总量
42.79	2.76	4.03	1.16	0.03	0.28	36.79	0.06	0.09	0.09	0.03	0.04	11.61	0.11	99.87
42.75	2.19	5.34	1.47	0.05	0.34	35.13	0.14	0.06	0.10	0.03	0.02	11.60	0.15	99.37

## 2 测试方法

人工重砂制样由经过清洗的破碎机破碎,再经过磁力和重液分选,然后用双目镜挑选,最后用偏光显微镜确认。薄片用人造金刚石刀片切片,磨料为刚玉粉。偏光显微镜为Olympus BX60,照片由连接显微镜的Olympus DP11数码照相机拍摄。

单晶碳硅石拉曼光谱测定在国土资源部大陆动力学实验室和南京大学内生金属矿床机制研究国家重点实验室进行,工作条件均为LM 1000,Ar<sup>+</sup>激光波长514 nm,功率2 nW,光阑50 μm。薄片碳硅石拉曼光谱在中国科学院地质和地球物理研究所测定,工作条件为LM 2000,Ar<sup>+</sup>激光波长514 nm,功率20 nW,光阑25 μm。

红外光谱测试在中国科学技术大学七系红外光谱实验室进行,工作条件为:FT-IR Nicolet 5700,附IR显微镜的光谱仪,分辨率80cm<sup>-1</sup>,光阑69 μm,扫描次数128,测试范围500~2 000 cm<sup>-1</sup>。单晶用透射光模式,薄片用反射光模式以减少树胶和载玻片的干扰。

碳硅石成分测试在北京大学物理系电镜室的扫描电镜能谱仪上进行,工作条件为:SUTW-SAPPHIRE,129.96 kV 15.00。单晶X光谱分析在中国地质大学(北京)地质实验中心进行,工作条件为:

Bruker SMART APEX-CCD 20000090,石墨单色器,MoKα(0.710 37 × 10<sup>-1</sup> nm),45 kV,35 mA,室温(20℃ ±),扫描角ω 0.3°。

## 3 天然碳硅石的显微镜研究

### 3.1 人工重砂中选出的碳硅石

人工重砂中选出的碳硅石具有不规则形态(图2a),大部分为自形或半自形单晶。自形晶以六方板状为主(图2b、2c),有的沿a轴延长(图2d),个别为三方晶系,表现为具有菱形晶面(图2e)。多数为蓝色,少数为黄绿色和无色。有不同类型包体,短柱状和针状金属硅包体较多(图2f、2g),偶见球状金属(拉曼光谱对金属无反应)包体(图2h)。需要说明的是,图2d的样品不是锆石而是碳硅石,因其拉曼峰值为788、766、970 cm<sup>-1</sup>,而锆石的拉曼主峰值为1 008cm<sup>-1</sup>,次要峰为970~971 cm<sup>-1</sup>。

### 3.2 薄片中的天然碳硅石

薄片中的碳硅石大多数为蓝色,也有的为黄色和无色。大部分薄片中的碳硅石的自形程度较差且有光性异常(图3),为二轴晶正光性,2E ≤ 30°,部分晶体直径小于100 μm(图3)。由于薄片中的碳硅石均未暴露在表面因此无法做成分测定,但拉曼和红外光谱测定结果均证明其为碳硅石。

上述碳硅石中,图2f、2g、2h以及图3a、3b、3c、

① 安徽省地质矿产局311地质队,1975.宿松县董家山蛇纹岩矿勘探报告(内部资料)。

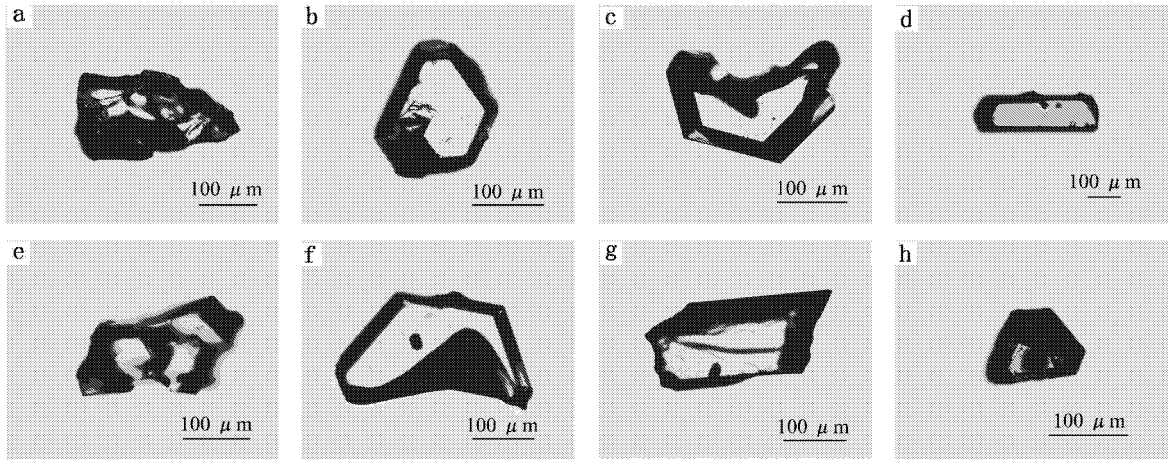


图2 董家山蛇纹岩人工重砂中的碳硅石(自然光)

Fig. 2 Natural moissanite from the artificial heavy sands of the Donjiashan serpentinite (natural light)

a—n1号不规则形碳硅石,无色,一轴晶(+);b—n23号六边形板状碳硅石,无色,一轴晶(+);c—n16号不完整六边形板状碳硅石,蓝色,一轴晶(+);d—n7号六边形板状,蓝色,沿轴伸长的碳硅石,已经X光衍射证实为 $\alpha$ -6H型碳硅石,一轴晶(+);e—n3号有菱形晶面的碳硅石,蓝色,一轴晶(+);f—n17号不完整六边形板状碳硅石,有短柱状和针状金属硅包体,蓝色,二轴晶(+);g—n21号不规则形碳硅石,黄绿色,二轴晶(+),X光衍射证实为 $\alpha$ -15R型;h—n19号六边形板状碳硅石,蓝色,有金属(自然Fe?)包体,二轴晶(+)

a—Irregular moissanite of sample n1, uniaxial(+); b—hexagonal, sample n23, uniaxial(+); c—hexagonal, sample n16, uniaxial(+); d—hexagonal, sample n7, uniaxial(+); e—rhombohedral, sample n3, uniaxial(+); f—hexagonal, sample n17, biaxial(+); g—rhombohedral, sample n21, biaxial(+)(proved by X-ray diffraction); h—hexagonal, sample n19, biaxial(+)

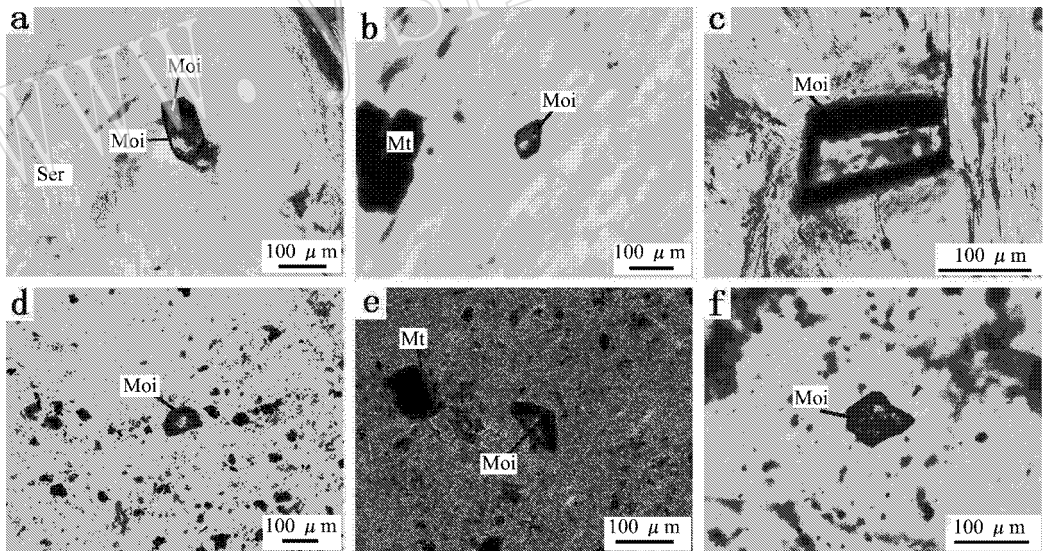


图3 董家山蛇纹岩薄片中的原位天然碳硅石(自然光)

Fig. 3 Natural moissanite in thin sections (natural light)

a—薄片04121-7,蓝色,二轴晶(+);b—薄片04121-5,无色,二轴晶(+);c—薄片04121-6,无色,二轴晶(+);d—薄片04101-a-3,无色,二轴晶(+);e—薄片04101-a-4,蓝色,二轴晶(+);f—薄片04101-a-6,无色,二轴晶(+);Moi—碳硅石;Ser—蛇纹石;Mt—磁铁矿

a—sample 04121-7, biaxial(+); b—sample 04121-5, biaxial(+); c—sample 04121-6, biaxial(+); d—sample 04101-a-3, biaxial(+); e—sample 04101-a-4, biaxial(+); f—sample 04101-a-6, biaxial(+); Moi—moissanite; Ser—serpentine; Mt—magnetite

3d、3e、3f 均为二轴晶正光性。而碳化硅均为一轴晶正光性,未见有二轴晶正光性的报道。原生碳硅石的二轴晶化,表明它有明显的晶内变形或塑性变形,

因而也成为重要的压力标志,就好像一轴晶的石英,在超高压变质作用下可以转变为二轴晶的柯石英。因此,二轴晶正光性应是天然碳硅石区别于碳化硅

的重要标志之一。由于碳硅石本身是高度还原条件下的产物,因此一轴晶碳硅石可能是二轴晶碳硅石的退变产物。图 2f、2g 中的金属硅以及图 2h 中的球状包体(可能为自然 Fe)也是碳硅石区别于碳化硅的重要标志。

#### 4 碳硅石的拉曼光谱研究

前期研究中,对 30 个单晶以及 15 个薄片中的碳硅石进行了拉曼光谱测定。测定结果虽然有差异,但都在允许误差范围之内。单晶的拉曼光谱位移峰稳定,主峰为  $788\text{ cm}^{-1}$ ,次峰为  $766\text{ cm}^{-1}$ ,弱峰为  $970\text{ cm}^{-1}$  左右(图 4a)。金属硅包体的拉曼峰值稳定在  $520\sim 521\text{ cm}^{-1}$ (图 4b)。薄片中的碳硅石的拉曼位移峰虽然不稳定,但也都变化在允许的误差范围内,例如,主峰变化范围为  $785\sim 788\text{ cm}^{-1}$ ,次峰为  $968\sim 995\text{ cm}^{-1}$ ,弱峰为  $780\sim 783\text{ cm}^{-1}$  之间。次峰和弱峰的强度有时互换(图 4c、图 d)。这种变化可能是由薄片中的相邻矿物的干扰引起,但主峰位移则稳定在  $788\text{ cm}^{-1}$  附近。中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室及本文测试单位提供的碳化硅标样的拉曼光谱的位移峰值均为:主峰  $788\text{ cm}^{-1}$ ,次峰  $965\text{ cm}^{-1}$ ,弱峰  $766\text{ cm}^{-1}$  左右,与天然碳

硅石的拉曼光谱基本相同。因此,拉曼光谱能证明碳化硅和碳硅石的存在,但不能区分二者。

#### 5 碳硅石的红外光谱研究

为查清碳化硅和碳硅石的红外吸收效应,笔者对 4 个碳化硅、4 个单晶碳硅石用透射光模式进行了红外光谱研究。为了减少薄片载玻片和环氧树脂的干扰,又对 4 个薄片中的碳硅石用反射光模式进行了红外光谱研究。结果表明,碳化硅和碳硅石的红外光谱有明显不同(图 5)。碳化硅波数  $700\sim 1000\text{ cm}^{-1}$  之间的宽吸收峰由 Si—C 键振动引起(Dkaki *et al.*, 2001; Huang *et al.*, 2002; Murri *et al.*, 2003),此外在波数  $1547\text{ cm}^{-1}$  和  $1621\text{ cm}^{-1}$  各有 1 个吸收峰,两峰之间是 1 个明显的吸收谷(图 5a);在 8 个原生碳硅石的红外光谱中,在相当于图 5a 宽峰的位置,都有波数为  $768$ 、 $837$  和  $890\text{ cm}^{-1}$  3 个独立的吸收峰,而在相当于图 5a 中  $1547\text{ cm}^{-1}$  和  $1621\text{ cm}^{-1}$  吸收峰之间的吸收谷位置的是 1 个  $1598\text{ cm}^{-1}$  的吸收峰(图 5b)。反射光模式测试结果与单晶碳硅石的测试结果基本相同。例如,  $600\sim 1000\text{ cm}^{-1}$  范围内由 Si—C 键振动引起的吸收峰表现为  $674$ 、 $839$ 、 $937\text{ cm}^{-1}$  3 个独立的吸收峰,此外在相当于图 5a

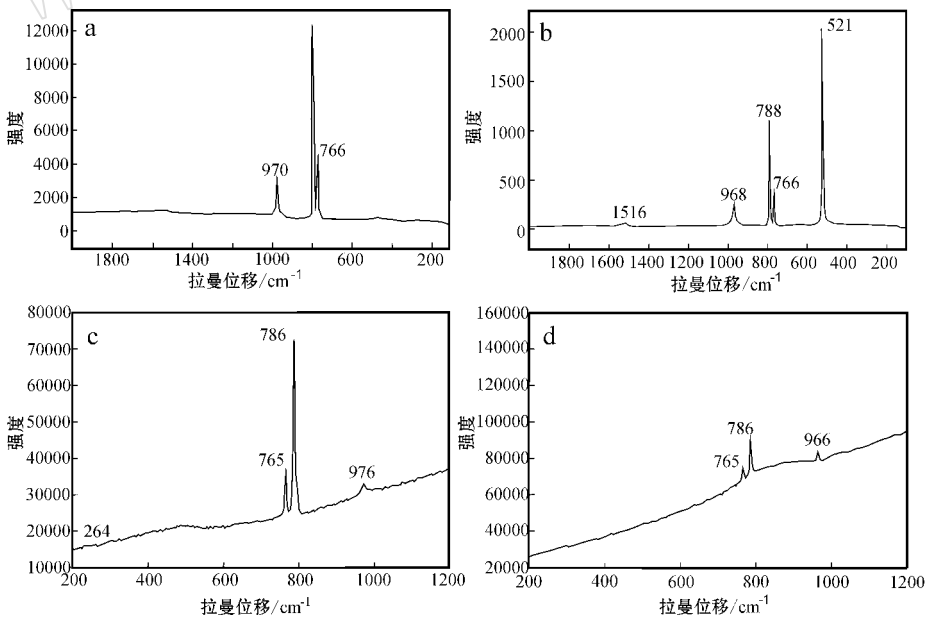


图 4 董家山蛇纹岩中碳硅石的拉曼光谱

Fig. 4 Raman spectra of moissanite from Dongjiashan serpentinite

a—图 2d 中单晶碳硅石 b—图 2g 中含金属硅包体的单晶碳硅石,其中  $521\text{ cm}^{-1}$  为金属硅的谱峰 c—图 3c 薄片中的碳硅石; d—图 3a 薄片中的碳硅石

a—the moissanite in Fig. 2d; b—the moissanite with metallic Si inclusion in Fig. 2g; c—the moissanite in Fig. 3c; d—the moissanite in Fig. 3a

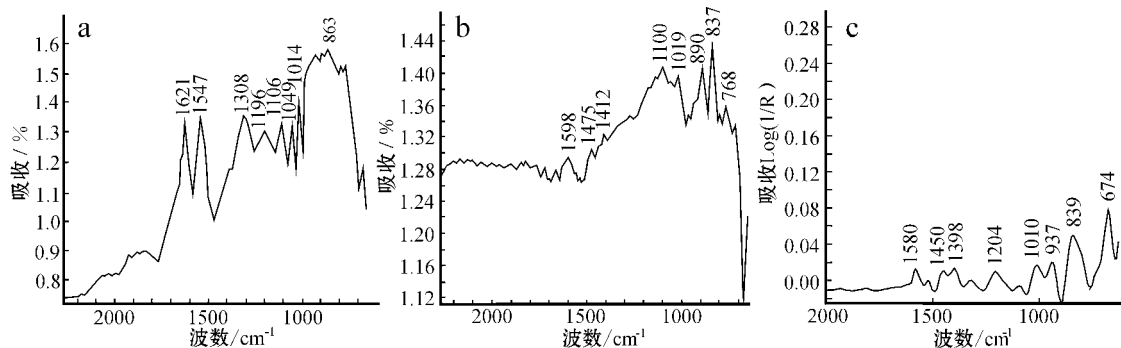


图 5 碳化硅和碳硅石的红外光谱(透射光模式)

Fig. 5 The IR spectrum of silicon carbide and moissanite

a—人造碳化硅 ; b—图 2c 中天然碳硅石 ;

c—薄片 04124 中碳硅石

a—man-made silicon carbide ; b—natural moissanite in Fig. 2c ; c—moissanite in thin section 04124

中  $1547\text{ cm}^{-1}$  和  $1621\text{ cm}^{-1}$  吸收峰之间的吸收谷位置, 是 1 个  $1580\text{ cm}^{-1}$  吸收峰(图 5c)。可见碳化硅和碳硅石的红外光谱有明显不同。根据 Liu 等(2004)引用的碳化硅红外光谱资料, 图 5a 中的  $1547$  和  $1621$ 、 $1308\text{ cm}^{-1}$  以及图 5c 中的  $1398\text{ cm}^{-1}$  吸收峰也是由 Si—C 键的振动引起的。图 5b 中的  $1412\sim 1475\text{ cm}^{-1}$  吸收峰以及图 5c 中的  $1204\text{ cm}^{-1}$  和  $1450\text{ cm}^{-1}$  吸收峰, 则是本文碳硅石样品独有的。造成这种差异的原因有待今后研究。但初步结论可以认为, 碳化硅和碳硅石的红外光谱有明显不同。

## 6 碳硅石的 X 光衍射和能谱分析

### 6.1 X 光衍射分析

据 5 个单晶碳硅石样品的 X 光衍射分析结果显示, 3 个为  $\alpha$ -6H 型, 2 个为  $\alpha$ -15R 型, 其中 2 个样品的结构分析结果见表 2。由分析结果可以看出, 大别山碳硅石的晶胞参数与碳化硅(Bauer *et al.*, 1963) 以及地中海卵石中碳硅石的晶胞参数(Di Pierro *et*

*al.*, 2003) 相比没有明显差别。

### 6.2 能谱分析

由于所用电子探针不能测出 C 的成份, 因此本文对 1 个碳化硅和 2 个单晶碳硅石进行了能谱分析。从图 6a 可知, 碳化硅中除去主要元素 Si 和 C 外, 还有杂质 Na 及 O, 而碳硅石的能谱中只有 Si 和 C, 未见其他杂质(图 6b、6c), 表明它未受到过任何壳源物质的污染。波希米亚和地中海卵石碳硅石中有 Al、Na、Ca、Mg 等杂质。波希米亚碳硅石产出在火山角砾岩中, 角砾成分有火山岩、泥灰岩、褐铁矿、钙质和含化石灰岩以及石榴石片麻岩等(Bauer *et al.*, 1963), 因此不能保证其中碳硅石是原位的。含碳硅石的地中海卵石除来源地不明外, 成分也很难与自然界的任何已知火山岩对比(Di Pierro, *et al.*, 2003)。因此也不能证明其为原位碳硅石。相反, 本文报道的大别山碳硅石的母岩性质、矿物组合、其本身的光性、红外光谱等方面的特征, 都证明它是天然原位碳硅石。

## 7 小结

(1) 推测大别山原生碳硅石的形成条件为: 温度高于  $1000^{\circ}\text{C}$ , 压力约  $10\text{ GPa}$ , 相当于上下地幔过渡带的深度。

(2) 根据本文资料可以认为董家山蛇纹岩体内的碳硅石与碳化硅的区别为: 碳硅石有较多的二轴晶正光性晶体, 含有针状金属硅以及可能的自然铁包体, 天然碳硅石与人造碳化硅的红外光谱有明显区别, 人造碳化硅比天然碳硅石有较多的杂质。

表 2 董家山蛇纹岩中 2 个单晶碳硅石的 X 光衍射分析结果

Table 2 X-ray analyses of natural moissanite from Dongjiashan serpentinite

样品号	n7(图 2d)	n21(图 2g)
空间群	$P6_3mc$	$R\bar{3}m$
晶胞参数	$a = b = 3.123(5)\text{ \AA}$ $c = 15.36(5)\text{ \AA}$	$a = b = 3.054(5)\text{ \AA}$ $c = 37.462(13)\text{ \AA}$
晶系	六方	三方(棱形亚系)
Z(分子数/单位晶胞)	6	15
多型(体)	$\alpha$ -6H	$\alpha$ -15R

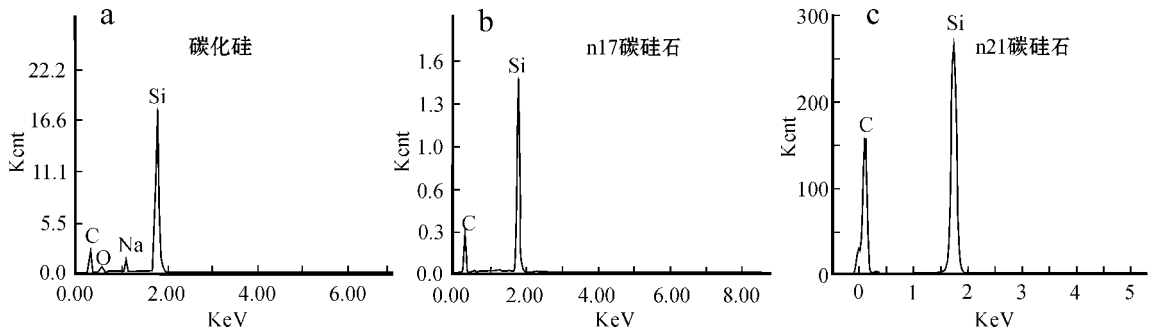


图 6 董家山蛇纹岩中碳硅石和碳化硅的能谱图

Fig. 6 Energy spectra of silicon carbide and moissanite from Dongjiashan serpentinite

(3) 由于碳硅石是超高压或幔源矿物,因而对母岩形成条件,乃至区域的构造演化,与陨石中碳硅石对比以研究地球形成历史,都有重要意义,因此需要对董家山蛇纹岩体内的碳硅石进一步研究。

(4) 作为潜在的陶瓷和半导体材料,董家山蛇纹岩体内的碳硅石也有进一步研究的价值。

致谢 拉曼光谱测试由国土资源部大陆动力学实验室戎合和阎玲同志以及南京大学内生金属矿床机制研究国家重点实验室完成,并曾受中科院刘景波教授指导。红外光谱为中国科技大学郝艳涛和杨晓志博士在夏群科教授指导下完成,X光分析由中国地质大学熊明和李国武教授完成,照片图表由陆益群工程师制作,在此一并表示衷心感谢。作者还特别感谢意大利都灵大学 Compagnoni Roberto 教授和合肥工业大学石永红博士的帮助。

## References

- Bauer J, Fiala J and Hrichová R. 1963. Natural  $\alpha$ -silicon carbide [ J ]. *America Mineralogist*, 48 : 620~634.
- Bernatowicz T, Fraundof G, Tang M *et al.* 1987. Evidence for interstellar SiC in the Murray carbonaceous stearite [ J ]. *Nature*, 330 : 728~730.
- Bokii G B, Volker A I and Zulkber V M. 1968. Reaction between diamond and silicon at high pressure and temperatures [ J ]. *Dokl. Akadl. Nauk SSSR*, 181 : 1 100~1 102.
- Dkaki M, Calcagno L, Makthari A M, *et al.* 2001. Infrared spectroscopy and transmission electron microscopy of polycrystalline silicon carbide [ J ]. *Marterial Science in Semiconductor Processing*, 4 : 201~204.
- Di Perro S, Gnos E, Grobty B H, *et al.* P. 2003. Rockmorming moissanite( natural C-silicon carbide ) [ J ]. *Armerican Mineralogist*, 88 : 1 817~1 821.
- Faure M, Lin W, Shu L, *et al.* 1999. Tectonics of the Dabieshan ( eastern China ) and possible exhumation mechanism of ultra high-pressure rock [ J ]. *Terra Nova*, 11 : 251~258.
- Kaminskiy F V, Bukin V I, Potapov S V *et al.* 1996. Discovery of silicon carbide under natural conditions and their genetic importance [ J ]. *International Geology Review*, 11 : 561~569.
- Huang N K, Yang B, Xiong Q, *et al.* 2002. Behaviors of hydrogen in C-SiC films witi IR and SIMS analyses [ J ]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 195 : 344~349.
- Kaminskiy F V, Bukin V I, Potapov S V, *et al.* 1969. Discovery of silicon cabide under natural conditions and their genetic importance [ J ]. *International Geology Review*, 11( 5 ) : 561~569.
- Leung I S, Huo W, Freindman I, *et al.* 1990. Natural occurrence of silicon carbide in a diamondiferous kimberlite from Fuxian [ J ]. *Nature*, 364 : 352~354.
- Leung I S, Taylor L A, Tso C C S, *et al.* 1996. SiC in diamond and kimberlites : implication for nucleation ang growth of diamond [ J ]. *International Geology Review*, 38 : 595~606.
- Liu Yaquin and Hu Ke. 1999. Ultra-high-pressure metamorphic rocks of alumium-rich in central China [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 15( 4 ) : 548~556( in Chinese with English abstract ).
- Liu Z X, Xu J A, Scott H P, *et al.* 2004. Moissanite as windows and anvils for high-pressure infrared spectroscopy [ J ]. *Review of Scientific Instrument*, 75( 11 ) : 5 026~5 029.
- Lyakhovich V V. 1980. Origin of accessory moissanite [ J ]. *International Geology Review*, 22 : 961~970.
- Maruyama S, Liou J G and Zhang R Y. 1994. Tectonic evolution of the ultra-high pressure and high-pressure metamorphic belts from central China [ J ]. *The Island Arc*, 3 : 112~121.
- Mathez E A, Fogel R A, Hutcheon I D, *et al.* 1995. Carbon isotopic composition and origin of SiC from kimberlites of Yakutia, Russia [ J ]. *Geochemica Cosmochimica Acta*. 59 : 781~791.
- Murri R, Pinto N and Giulirodori S. 2003. Infrared absoption of C-SiC : H as a function of the annealing temperatur [ J ]. *Journal of Marterial Science Materials in Electronics*, 14 : 341~344.
- Tang M, Anders E, Hoppe P, *et al.* 1989. Meteoritic silicon carbide and its stellar source : Implication for galactic chemical evolution [ J ]. *Nature*, 339 351~354.



Varshavskiy A V, Shulyakov and Yu F. 1967. Oriented crystallization of SiC in diamond [ J ]. Dokl. Akad. Nauk SSSR, 173: 573~574.

Wang Q and Cong B. 1996. Tectonic implication of UHP rocks from the Dabie Mountains [ J ]. Science of China (D), 39: 311~318.

Weidner D J, Wang Y and Vaughan M T. 1994. Strength of diamond [ J ]. Science, 266: 419~422.

Wu Weiping, Jiang Laili, Xu Shutong, *et al.* 2002. Geologic and Geochemical characters and genetic environment of the Susong-Qichun ophiolitic melange in south Dabi [ A ]. Symposium on Geology, Resources and Environment of Kunlun-Qingling-Dabie orogen ( Part 1 ) [ C ], Map Press of Xi 'an, 107~114. China ( in Chinese ).

Xu Shutong, Chen Guanbao, Liu Yican, *et al.* 2005. Geologic Map of the Dabie Mountains ( 1/500 000 ) ( Editing board of Ultrahigh pressure Metamorphism of Collisional Dynamics of the Dabie Mountains ) [ M ]. Beijing: Science Press China ( in Chinese and English ).

Yang Xiaoyun, Shi Guangyuan and Huang Heluan. 1998. The polytypism of silicon carbide [ J ]. Journal of Liaoning University, 25( 4 ): 351~354 ( in Chinese with English abstract ).

Xu Shutong, Liu Yican, Chen Guanbao, *et al.* 2005. Architecture and kinematics of the Dabie Orogen, central eastern China [ J ]. Acta Geologica Sinica, 79( 3 ): 356~371.

Zhang Guowei, Cheng Shunyou, Guo Anlin, *et al.* 2004. Mianlue pale-

o-suture on the southern margin of the Central orogenic System in Qinling-Dabie with a discussion of the assembly of the main part of the continent of China [ J ]. Geologic Bulletin of China, 23( 9~10 ): 846~853 ( in Chinese with English abstract ).

## 附中文参考文献

- 刘雅琴, 胡克. 1999. 中国中部高铝质超高压变质岩 [ J ]. 岩石学报, 15( 4 ): 548~556.
- 吴维平, 江来利, 徐树桐, 等. 2002. 大别山东南部宿松——蕲春蛇绿混杂岩地质地球化学特征及其形成环境 [ A ]. 昆仑-秦岭-大别山系地质构造与资源环境学术研讨会论文集, 第一篇, 地质构造 [ C ], 西安地图出版社, 107~114.
- 徐树桐, 陈冠宝, 刘贻灿, 等. 2005. 大别山造山带地质图 ( 1/50 万 ) 大别山超高压变质作用与碰撞造山动力学 ( 大别山超高压变质作用与碰撞造山动力编写组 ) 附图 [ M ], 北京: 科学出版社, 210.
- 杨晓云, 石广元, 黄和鸾. 1998. SiC 结构的多型性 [ J ]. 辽宁大学学报, 25( 4 ): 351~354.
- 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 2004. 秦岭-大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识—兼论中国大陆主体的拼合 [ J ]. 地质通报, 23( 9~10 ), 846~853.