

DOI:10.19657/j.geoscience.1000-8527.202509050055

一颗由N、H相关缺陷共同致色的 彩灰黄绿色钻石的鉴定特征

张光辉, 叶宏, 盛宇航, 王利群, 陈佳, 王敏, 黄天平, 王玉珺

(国家珠宝玉石首饰检验集团有限公司深圳实验室, 广东 深圳 518020)

摘要:天然绿钻占全球天然钻石总量的比例不到0.07%,属于极为稀有的宝石。前人将天然绿色钻石划分为四种基本致色机制:GR1、H3、H、Ni,另外一部分属于这几种成因机制的组合物型,H相关缺陷致绿色的钻石仅占绿色钻石数量的16%,并多带褐色或者灰色调,达到“Fancy”色级的更为稀少。作者收集到一颗“Fancy”色级灰黄绿色钻石,对该粒钻石进行紫外可见光谱、红外吸收光谱、光致发光光谱等光谱学测试,检测到与H相关615 nm吸收峰、730 nm、835 nm吸收带吸收了红橙区的可见光,N相关缺陷的415 nm、452 nm、462 nm、478 nm吸收峰吸收了蓝紫色区的可见光,在黄绿区留下一个V字形透射窗,使样本呈现黄绿色,与H相关的530 nm吸收带产生灰色,最终形成了灰黄绿色。因未检测到GR1、H3、Ni相关的紫外可见吸收峰,按照前人的理论应将这颗绿色钻石划归为H相关缺陷致色机制,本文认为N相关缺陷产生的吸收对于样本绿色的形成也很重要,因此将样本绿钻归为N、H相关缺陷共同致色更为合理,这颗稀少的“Fancy”色级天然灰黄绿色钻石分析数据能为实验室鉴定绿色钻石提供一份比较完整的参考。

关键词:绿色钻石;H相关缺陷;紫外可见吸收光谱;红外吸收光谱;光致发光光谱

中图分类号:P571 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-8527(2026)04-1318-07

Identification Characteristics of a Fancy Grayish Yellowish Green Diamond Colored by N and H Related Defects

ZHANG Guanghui, YE Hong, SHENG Yuhang, WANG Liqun, CHEN Jia, WANG Min,
HUANG Tianping, WANG Yujun

(National Gemstone Testing Center Shenzhen Lab, Shenzhen, Guangdong 518020, China)

Abstract: Natural green diamonds represent less than 0.07% of global natural diamond production and are considered exceptionally rare gemstones. Previous studies have classified the coloration mechanisms of natural green diamonds into four primary types: GR1, H3, H and Ni, with some specimens exhibiting combinations of these mechanisms. Among them, diamonds whose green color arises from H related defects constitute approximately 16% of all natural green diamonds; these are typically characterized by brownish or grayish hues, and those achieving the “Fancy” color grade are particularly scarce. In this study, a “Fancy” grayish yellowish green diamond was collected and subjected to comprehensive spectroscopic analyses. The results revealed the presence of an H related

收稿日期:2025-09-05;修回日期:2026-03-29;编辑:袁茂文。

基金项目:张光辉劳模和工匠人才创新工作室基金资助项目(科研2026-01)。

作者简介:张光辉,男,硕士研究生,工程师,1981年出生,主要从事天然、合成和处理钻石的鉴定及研究。

Email:115417570@qq.com。

引用格式:张光辉,叶宏,盛宇航,等.一颗由N、H相关缺陷共同致色的彩灰黄绿色钻石的鉴定特征[J].现代地质,2026,40(4):1318-1324. DOI:10.19657/j.geoscience.1000-8527.202509050055.

ZHANG Guanghui, YE Hong, SHENG Yuhang, et al. Identification Characteristics of a Fancy Grayish Yellowish Green Diamond Colored by N and H Related Defects [J]. GEOSCIENCE, 2026, 40 (4): 1318-1324. DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202509050055.

615 nm absorption peak, along with 730 nm and 835 nm absorption bands that attenuate visible light in the red-orange spectral region. Additionally, nitrogen (N) related defects exhibited absorption peaks at 415 nm, 452 nm, 462 nm, and 478 nm, which absorb blue-violet light, resulting in a V shaped transmission window in the yellow-green region, this contributes significantly to the observed yellow-green appearance. A distinct 530 nm absorption band introduced a grayish component, ultimately yielding a grayish-green hue. Notably, no UV-Vis absorption features associated with GR1, H3 or Ni centers were detected. Based on existing classification criteria, this diamond would be categorized as having H related defects induced coloration. However, the author emphasizes that the contribution of N related defects to the overall color formation is substantial. Therefore, it is more accurate to attribute the color of this specimen to a synergistic effect between H and N related defects.

Key words: green diamond; H related defects; ultraviolet-visible absorption spectrum; infrared spectrum; photoluminescence spectrum

0 引言

绿色钻石主要有天然钻石、处理天然钻石、处理合成钻石三大类型^[1],随着彩色钻石价格不断升高,市场上经过处理的绿色钻石和处理的合成绿色钻石越来越多,特别是人工辐照致绿色钻石和天然辐照绿色钻石在紫外吸收光谱,红外光谱,光致发光光谱的差异很小,给钻石的检测工作带来了很大挑战^[2]。据天然钻石协会的官方网站的报道,天然绿钻占全球天然钻石总量的比例不到0.07%,属于极为稀有的宝石。天然绿色钻石通常有四种基本致色机制:GR1、H3、H、Ni,另外一部分绿色钻石属于这几种成因机制的组合型,由H相关缺陷致绿色的钻石仅占绿色钻石的16%,并多带褐色或者灰色调,达到“Fancy”色级的则更为稀少^[2]。本文对一颗N、H共同致色的“Fancy”色级灰黄绿色钻石样品的红外吸收光谱、紫外可见吸收光谱、光致发光光谱等光谱特征以及其他宝石学特征进行了测试,该样本检测到与H相关615 nm吸收峰、730 nm、835 nm吸收带吸收了红橙区的可见光,N相关缺陷的415 nm、452 nm、462 nm、478 nm吸收峰吸收了蓝紫色区的可见光,在黄绿区留下一个V字形透射窗,使样本呈现黄绿色,与H相关的530 nm吸收带产生灰色,最终形成了灰黄绿色。因未检测到GR1、H3、Ni相关的紫外可见吸收峰,按照前人的理论应将这颗绿色钻石划归为H相关缺陷致色机制,本文认为N相关缺陷产生的吸收对于样本绿色的形成也很重要,因此将样本绿钻归为N、H相关缺陷共同致色更为合理,这粒稀少的“Fancy”色级天然灰黄绿色钻石分析数据能为实验室鉴定绿色钻石提供一份比较完整的参考。

1 样品特征

本文收集到的样本是一粒裸石(图1),重量0.16 ct,垫形明亮式切工,规格:3.31 × 2.83 × 2.02 mm;整体颜色呈黄绿色,带有灰色调,颜色分布均匀,GIA证书定的颜色级别为彩灰黄绿(Fancy Grayish Yellowish Green),产地来源不明。

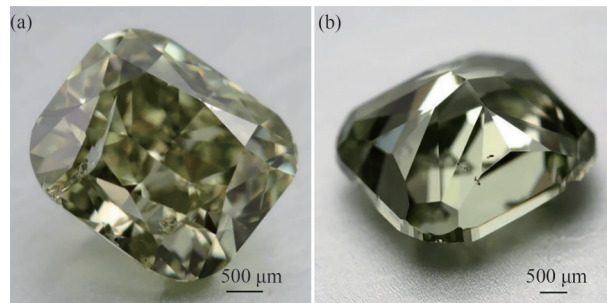


图1 测试样本图

Fig. 1 Pictures of the test samples

(a) 样品的冠部; (b) 样品的亭部

2 测试方法

本次研究采用的仪器设备有:宝石显微镜、超景深三维显微镜、Diamond View™钻石观察仪、红外光谱仪、紫外可见吸收光谱仪、激光拉曼光谱仪。

放大检查采用南京宝光GI-M2S6E型宝石显微镜,放大10 ~ 40倍,采用顶部照明和散射照明方法观察钻石冠部、腰部、亭部的净度特征,观察其颜色分布。在宝石显微镜上加上2片偏光片,观察样品的消光现象。

采用超景深显微镜对样品进一步观察与照相,

仪器为基恩士公司生产 VHX2000 超景深三维显微镜, 放大倍数为 20 ~ 1000 倍, 拍摄钻石表面及内部净度特征。

红外光谱测试采用 Thermo Nicolet 6700 型红外光谱仪, 测试条件: 6 倍光速聚焦器 (6 × Beamcondensor) 对样品进行透射扫描, 扫描范围为 6000 ~ 400 cm^{-1} , 分辨率为 2 cm^{-1} , 扫描次数 256 次; 近红外采用 InGaAs 检测器, Quartz 分束器, 扫描范围为 12000 ~ 4000 cm^{-1} , 分辨率设置为 4 cm^{-1} , 扫描 128 次。红外吸收光谱用于分析钻石类型以及杂质元素。

紫外可见吸收光谱测试采用广州标旗公司生产的 GEM3000 珠宝检测仪在常温条件下测试样品的紫外可见吸收光谱, 测试范围 200 ~ 1000 nm, 积分时间 120 ms, 分辨率为 2 nm。通过对样品的紫外可见光谱的分析来确定钻石的致色因素。

采用英国戴比尔斯钻石观测仪 Diamond View™ 观察钻石样品的荧光、磷光现象以及钻石内部结构特征, 并拍摄荧光图像。

光致发光 (PL) 采用珠宝国检集团生产的多功能光致发光光谱仪 MIP100, 激光波长 405 nm, 采用英国雷尼绍公司英国 Renishaw-invia 的拉曼光谱仪, 激光器波长为 473 nm、532 nm、785 nm; 将样品浸没在 77 K (-197 °C) 的液氮中进行测试。光致发光光谱的测试来分析钻石内的杂质元素和缺陷。

3 测试结果与讨论

3.1 测试结果

3.1.1 放大观察

使用超景深显微拍摄并观察, 星小面和腰围有多个内凹原始晶面, 一个星小面内发现多个短的凹蚀管 (图 2 (a), 放大 200 倍); 该样本最明显的净度特征就是从腰部延伸至台面的长羽状纹, 该羽状纹裂面干净, 未发现石墨化, 该钻石净度级别 P_1 (参照钻石分级标准: GB/T 16554); 钻石刻面棱线平直, 未见重新抛光的痕迹, 未见刻面及腰围熔蚀现象 (图 2 (b), 放大 100 倍); 在显微镜上加上偏光镜片, 从冠部, 腰围及亭部及观察该样品, 钻石仅在亭部靠近亭尖附近有很微弱异常双折射现象 (图 2 (c)、(d))。钻石灯照明 (色温 5500 ~ 7200 K) 条件下观察, 钻石呈带灰

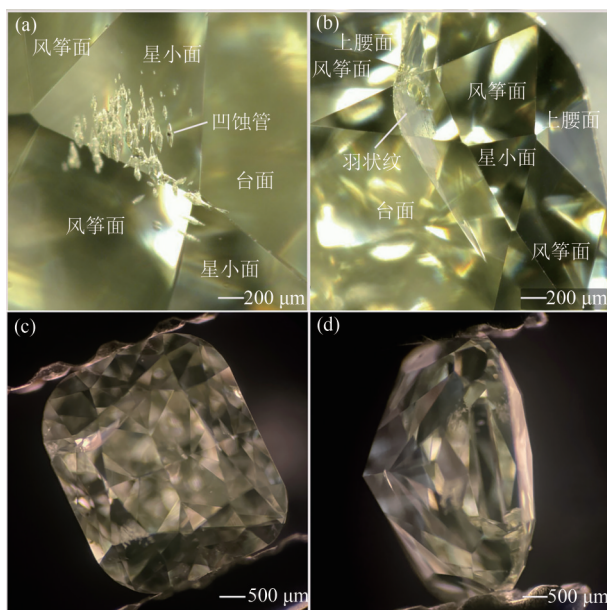


图2 样本钻石的放大观察及消光观察

Fig. 2 Magnified and extinction observations of the sample diamond

(a) 星小面内凹原始晶面及凹蚀管; (b) 从腰部延伸至台面的羽状纹; (c) 正交偏光镜下钻石台面无异常双折射; (d) 正交偏光镜下钻石侧面观察到亭部有微弱异常双折射

色调的黄绿色, 颜色分布均匀。

3.1.2 DiamondView™ 观察

使用 De Beers 公司生产的 DiamondView™ 钻石观测仪观察样品的发光图像。钻石冠部呈现浅蓝色荧光, 荧光强度较弱 (图 3 (a)); 在钻石亭部的一角, 大约 1/4 的范围内, 可见较强的蓝色荧光区域, 强弱不等, 呈回字形, 有很窄的绿色荧光带沿着回字边缘分布, 这是天然钻石的生长结构 (图 3 (b))。前人研究发现, A 型氮对于荧光有很强的抑制作用^[1, 3], 本样品含一定量的 A 型氮 (见 3.1.3 红外吸收光谱分析), 因此对蓝色和绿色荧光的有一定程度的抑制作用, 冠部整体荧光弱的原因还可能是具有强荧光的缺陷较少导致 (见 3.1.5 光致发光光谱分析), 亭部较强荧光区域结构显示得比较清晰。富 N 杂质的钻石经过 HPHT 处理后通常会产生强 H3, 使得钻石荧光主要为强烈绿色^[4, 5], 该样本绿色荧光很弱, 且仅出现在亭部“回”字纹理附近, 可以作为未经过 HPHT 处理天然钻石的辅证。

3.1.3 红外吸收光谱分析

样品的红外光谱测试结果 (图 4 (a)) 显示, 红外吸收光谱具与 N 相关缺陷 482 cm^{-1} 、1010 cm^{-1} 吸收^[1, 6], 当钻石中氮含量较高, 在 1060 ~

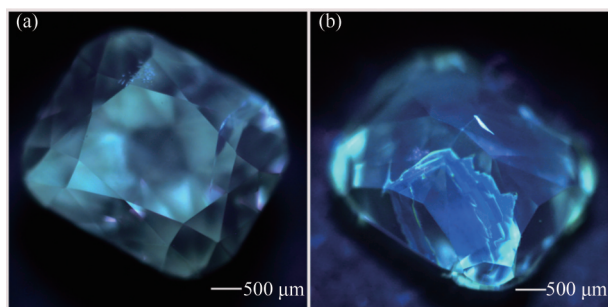


图3 样本的荧光图像

Fig. 3 The fluorescence image of the sample

(a)样本冠部的荧光图像荧光颜色较为均匀的浅蓝色;(b)样本亭部四分之一的区域呈“回”字形,亮蓝色边缘有绿色的间隔

1350 cm^{-1} 之间产生溢出,不能根据1282 cm^{-1} 和1175 cm^{-1} 处的吸收来判断钻石的类型,但可以通过482 cm^{-1} 和1010 cm^{-1} 处的吸收峰来判断钻石中A氮和B氮的相对含量^[6, 7],红外吸收图谱显示该样本为IaAB型钻石。

红外图谱显示该钻石具1365 cm^{-1} 、1430 cm^{-1} 、1498 cm^{-1} 、1520 cm^{-1} 、1547 cm^{-1} 吸收,其中1498 cm^{-1} 、1520 cm^{-1} 、1547 cm^{-1} 的峰位会因A/B中心的比值变化而发生偏移^[2],宋中华等人在2020年对1粒褐色富H型Cape钻石进行HPHT处理实验发现,经过HPHT处理后1430 cm^{-1} 吸收峰明显减弱,1547 cm^{-1} 消失,1500 cm^{-1} 、1520 cm^{-1} 、1547 cm^{-1} 处吸收峰变为以1498 cm^{-1} 左右为中心的吸收宽峰^[7]。本文样本1498 cm^{-1} 、1520 cm^{-1} 、1547 cm^{-1} 处吸收峰与宋中华等人实验样本进行HPHT处理前相似。1365 cm^{-1} 处吸收峰与片晶有关,片晶确切的分子模型尚未建立,但常用的模型是由间隙碳原子组成的平面聚集体。片晶高温稳定性中等,经过HPHT

处理后片晶峰会变宽变短^[6]。尖锐的1430 cm^{-1} 与1365 cm^{-1} 吸收峰,清晰的1498 cm^{-1} 、1520 cm^{-1} 、1547 cm^{-1} 组合峰,是该样本未经过HPHT处理的证据。

钻石在红外吸收光谱中的本征峰位于1500 ~ 2680 cm^{-1} 之间,以2030 cm^{-1} 、2160 cm^{-1} 、2350 cm^{-1} 为主峰,属于C-C键之间的振动吸收峰^[1]。中红外与近红外吸收图谱最复杂,数量最多的是与H相关缺陷,包含1405 cm^{-1} 、2785 cm^{-1} 、2812 cm^{-1} 、2850 cm^{-1} 、2920 cm^{-1} 、2982 cm^{-1} 、3055 cm^{-1} 、3255 cm^{-1} 、3107 cm^{-1} 、3236 cm^{-1} 等吸收峰,其中1405 cm^{-1} 、2785 cm^{-1} 、3107 cm^{-1} 、3236 cm^{-1} 吸收峰均比较强,最强峰在3107 cm^{-1} (图4(a))。前人已经证实3107 cm^{-1} 吸收对应的缺陷结构为三个氮原子毗邻一个有H原子的空位^[2, 8],显示出钻石中的H和N杂质的密切联系。值得注意的是红外吸收光谱的H的强度与紫外可见光谱中导致有关吸收不直接相关^[2]。宋中华等人高温高压处理天然富氢钻石时发现,除3107 cm^{-1} 吸收峰外,其他与H相关峰均有所减弱甚至消失^[9]。

近红外吸收光谱显示4168 cm^{-1} 、4498 cm^{-1} 、4700 cm^{-1} 、6070 cm^{-1} 、7495 cm^{-1} 、7854 cm^{-1} 等吸收峰,其中4168 cm^{-1} 、4498 cm^{-1} 吸收峰与H相关缺陷有关,4700 cm^{-1} 、6070 cm^{-1} 、7495 cm^{-1} 、7854 cm^{-1} 吸收峰结构和成因未知(图4(b))。在钻石中红外吸收光谱中未见1130 cm^{-1} 、1344 cm^{-1} 与孤氮相关的吸收吸收峰^[10],也未见1450 cm^{-1} 、4940 cm^{-1} 、5170 cm^{-1} 、6170 cm^{-1} 等与辐照退火处理相关吸收吸收峰^[1, 11]。

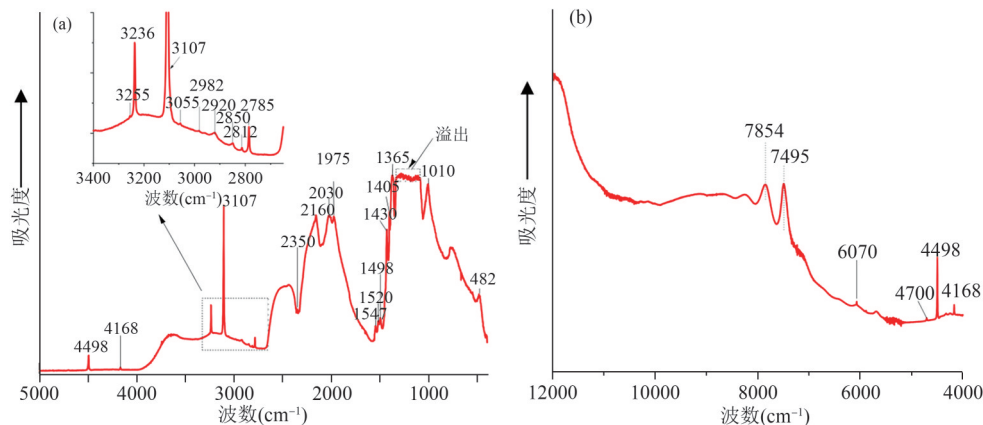


图4 样本红外吸收光谱

Fig. 4 Infrared absorption spectrum of the sample

(a)样品的中红外光谱;(b)样品的近红外光谱

3.1.4 紫外可见吸收光谱分析

下图是在常温条件下测试样品的紫外可见吸收光谱(图5),紫外可见吸收光谱显示该钻石具与N相关415 nm、452 nm、462 nm、478 nm中心,其中N3缺陷吸收峰在415 nm处,N2吸收在478 nm处,这些聚合氮在可见光的蓝紫区有吸收,使得钻石呈现黄色^[1, 11];与H相关615 nm吸收峰以及530 nm、730 nm、835 nm吸收宽带,在可见光的红橙区吸收^[2, 8];N缺陷对蓝紫区的吸收及H缺陷对红橙区的吸收使得钻石在可见光中间区域产生一个整体呈V字形的黄绿色透视窗,其中与H相关的530 nm宽带与N、H相关缺陷相结合在绿色透视窗底部形成500 ~ 600 nm间的凸起,即530 nm宽带,因此钻石产生灰色调,使钻石呈灰黄绿色^[2, 12];N、H相关缺陷对于可见光中蓝紫区以及红橙区吸收比较强,样本钻石颜色彩度达到“Fancy”级,最终钻石颜色为彩灰黄绿色(Fancy Grayish Yellowish Green)。

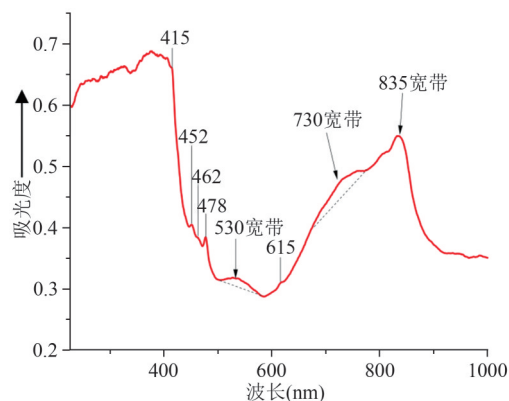


图5 样品的紫外可见吸收光谱

Fig. 5 UV-VIS absorption spectrum of the sample

3.1.5 光致发光光谱分析

使用405 nm激光器激发,该样品光致发光光谱中可见与N3相关的415 nm、438 nm、452 nm发光峰^[6, 14](图6(a));415 nm对应的是N3中心,绝大多数天然钻石都显示N3中心的吸收和发光;其结构是由3个氮原子围绕着1个空位组成N3V^[1]。415 nm发光中心的存在,也是钻石

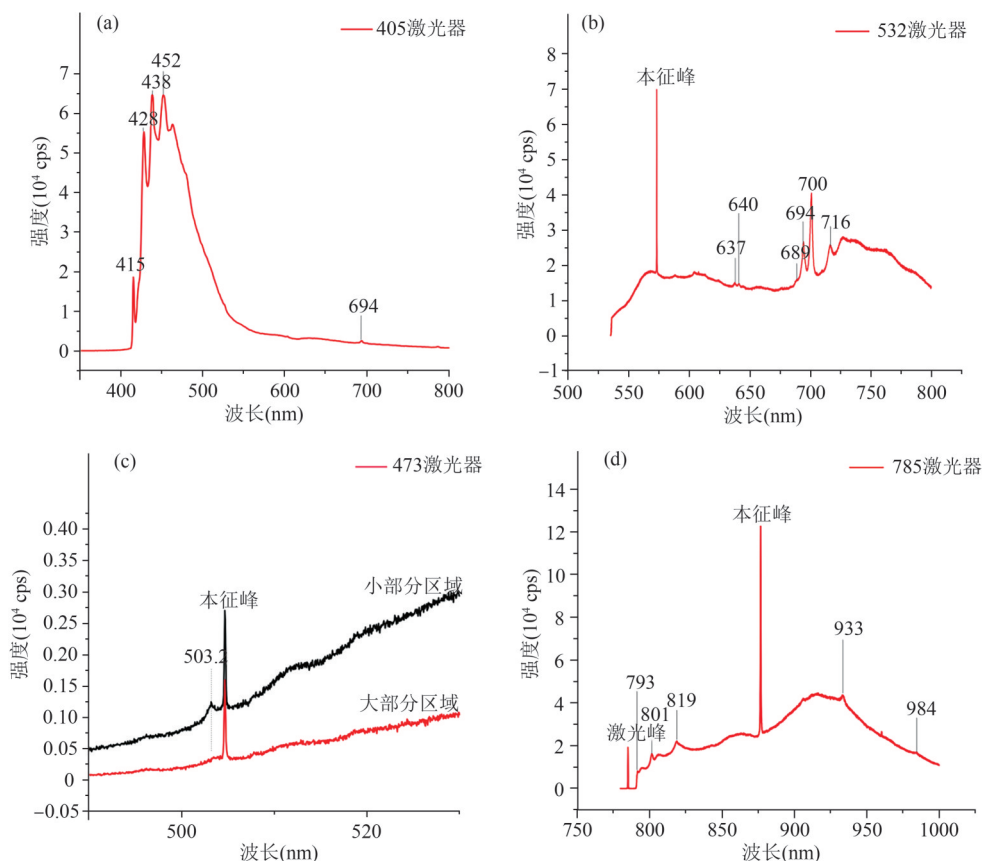


图6 样品的光致发光光谱(激光器波长:405 nm,473 nm,532 nm,785 nm)

Fig. 6 PL spectra of the sample (Laser: 405 nm, 473 nm, 532 nm, 785 nm)

注:在785激光器激发下,仅见793 nm、801 nm、819 nm、933 nm、984 nm等很弱的发光峰(图6(d));793 nm中心是Ni-N相关缺陷引起的,在天然灰色钻石PL光谱中常见,未见与Ni相关发光峰883 nm、884 nm双峰^[6]。

观察仪下钻石具蓝色荧光的原因。

使用473 nm激光器激发钻石时,亭部“回”字区域可检测到弱503.2 nm (H3) 的发光(图6(c));通常强的503.2 nm (H3) 并伴有512 nm、520 nm发光峰。H3中心可以出现HPHT合成钻石、CVD合成钻石中,也可以出现在处理Ia型钻石中,还可以出现在未经处理的天然褐色或者黄绿色Ia型钻石中。H3色心高温稳定,一般强的H3中心是经过HPHT处理的重要提示。本样本中503.2 nm (H3) 中心很弱,只在钻石部分区域有503.2 nm (H3) 的PL峰。

使用532 nm激光器激发,检测到极弱的637 nm、640 nm发光峰,其中637 nm发光峰与NV中心有关,NV中心很弱,以至于在钻石观测仪上未发现橙色或者红色的发光现象(图6(b));检测到与H相关的694 nm、700 nm、793 nm等发光峰^[2, 6, 14](图6(b)(d)),这些694 nm、787 nm和793 nm相关缺陷以前被认为是复杂的Ni-N缺陷^[15],因Ni相关缺陷也会引起694 nm的发光,但通常会与强637 nm一起出现,本样品637 nm发光很弱,说明检测到的694 nm发光很可能仅与H相关;另外H相关缺陷致绿色钻石与Ni相关缺陷致绿色钻石在光致发光最大的差别在于,含Ni相关缺陷的绿钻会出现很强的883/884 nm双峰,而H相关缺陷致绿色钻石则不会出现很强的883/884 nm双峰^[2],该样本未检测到883/884 nm双峰,进一步说明本钻石中可能不含Ni。Breeding C. M等人认为700 nm和793 nm缺陷与富H钻石中的A

型氮浓度相关^[13]。

3.2 讨论

3.2.1 关于样本钻石天然成因的分析

Diamond View™荧光图像显示该钻石呈不规则回字形天然生长结构,说明钻石是天然成因。尖锐的1430 cm⁻¹与1365 cm⁻¹强吸收峰,清晰的1498 cm⁻¹、1520 cm⁻¹、1547 cm⁻¹组合峰,不存在1130 cm⁻¹、1344 cm⁻¹与孤氮相关的吸收;紫外吸收光谱中未见孤氮吸收,未见H3吸收,未见H2吸收;光致发光光谱未见强503.2 nm (H3),未见986 nm (H2),综合数据说明样本钻石未经过HPHT处理。

该样本的红外吸收光谱中也未见1450 cm⁻¹、4940 cm⁻¹、5170 cm⁻¹、6170 cm⁻¹等与辐照退火处理相关吸收^[1, 11, 16];紫外可见吸收光谱未见595 nm、741 nm与辐照相关吸收,光致发光也未见741 nm与辐照相关发光缺陷,综合数据说明样本钻石未经辐照相关处理。

3.2.2 关于样本钻石灰黄绿色的形成机制分析

紫外可见吸收光谱分析:与聚合氮N2、N3相关的415 nm、452 nm、462 nm、478 nm中心在可见光的蓝紫区的吸收使样本产生黄色调;与H相关615 nm吸收峰以及530 nm、730 nm、835 nm吸收宽带对红橙区的吸收产生绿色调;其中与H相关的530 nm宽带在绿色透视窗底部形成凸起,使钻石产生灰色调,最终样本呈灰黄绿色^[2]。四种绿色钻石主要光谱学特征的比较(如表1)。

表1 四种绿色钻石主要光谱学特征的比较^[1-2,5]

Table 1 A comparison of the main spectroscopic characteristics of four types of green diamonds

颜色成因	主要颜色	主要紫外吸收光谱特征 (nm)	主要红外吸收光谱特征 (cm ⁻¹)	主要光致发光光谱特征 (nm)
GR1	绿、蓝绿	与N相关吸收不确定;与GR1相关741吸收峰及其吸收边带	不确定	与GR1相关741、745发光峰
H3	黄绿	与N相关415吸收峰 与H3相关503.2吸收峰及其吸收边带	与聚合N相关482、1282、1375 与片晶相关1360~1370; 与H相关3107、4496、1405	与H3相关503.2,与H2相关986 575(NV ⁰) 637(NV ⁻) 741(GR1)
Ni相关缺陷	黄绿、绿黄	与Ni相关690吸收带、883吸收峰	聚合N相关482、1282;孤N相关1130、1344; H+C中心相关的3137、3143、3180、3187、3202、3242、3257、3272	Ni相关883、884发光双峰;694与强637发光组合峰
N、H相关缺陷 (研究样本)	灰黄绿	N相关415、452、462、478吸收峰 H相关615吸收峰;835、730、530吸收带	聚合N相关482、1282 片晶相关1365、1430 与H相关1405、2785、2812、3107(强)、3236、4168、4496	N相关415、438、452发光峰 H相关694、700、793发光组合峰

4 结 论

该样本是一粒未经处理的 N、H 共同致色的天然彩灰黄绿色钻石, 主要有以下特征: 钻石呈灰黄绿色, Diamond View™ 荧光图像具蓝色荧光, 可见典型 I a 型钻石生长结构; 钻石含聚合氮, 红外吸收光谱中具强与 H 相关的 1405 cm^{-1} 、 2785 cm^{-1} 、 3107 cm^{-1} 、 3236 cm^{-1} 等吸收峰, 并具尖锐的 1430 cm^{-1} 与 1365 cm^{-1} 强吸收峰, 清晰的 1498 cm^{-1} 、 1520 cm^{-1} 、 1547 cm^{-1} 组合峰; 光致发光光谱中具与 Ni、H 相关的 694 nm 、 700 nm 、 793 nm 等特征发光峰, 未见与 Ni 相关的 883 nm 、 884 nm 双峰。与 H 相关 615 nm 吸收峰、 730 nm 、 835 nm 吸收带吸收了红橙区的可见光, N 相关缺陷的 415 nm 、 452 nm 、 462 nm 、 478 nm 吸收峰吸收了蓝紫色区的可见光, 在黄绿区留下一个 V 字形透射窗, 使样本呈现黄绿色, 与 H 相关的 530 nm 吸收带产生灰色, 最终形成了灰黄绿色。因未检测到 GR1、H3、Ni 相关的紫外可见吸收峰, 按照前人的理论应将这颗绿色钻石划归为 H 相关缺陷致色机制, 本文认为 N 相关缺陷产生的吸收对于样本绿色的形成也很重要, 因此将样本绿钻归为 N、H 相关缺陷共同致色。

参考文献:

- [1] 宋中华, 魏华, 田晶. 《钻石辨假》[M]. 北京: 文化出版社, 2017.
- [2] ALAN T. COLLINS. Colour centres in diamond [J]. *Journal of Gemmology*, 1982, 18(1): 37–75
- [3] 祝晓霞, 朱文芳, 黎辉煌, 等. 高压高温处理 I a 型褐色钻石的光谱学特征[C]//自然资源部珠宝玉石首饰管理中心(国家珠宝玉石质量监督检验中心), 中国珠宝玉石首饰行业协会 (GAC). 2021 国际珠宝首饰学术交流会文集. 2021: 31–33.
- [4] 张光辉, 王敏, 叶宏, 等. 一粒 I aB 型天然黄绿色钻石的鉴定特征[C]//国家珠宝玉石首饰检验集团有限公司, 中国珠宝玉石首饰行业协会. 珠宝与科技——2023 国际珠宝首饰学术交流会论文集. 地质出版社, 2023: 65–70.
- [5] INGA A D, VICTOR G V, ALEXANDER M Z. HPHT-Treated Diamonds[M]. *Springer Series in Materials Science*, 2013.
- [6] 宋中华, 陆太进, 唐诗, 等. 高温高压改色处理 I a 型褐色钻石的光谱鉴定特征[J]. *岩矿测试*, 2020, 39(1): 85–91.
- [7] CHRISTOPHER M B, SALLY E-M, JAMES E S. Natural-color green diamonds: A beautiful conundrum [J]. *Gems and Gemology*, 2018, 54(1): 2–27.
- [8] J P GOSS, P R BRIDDON, V HILL, et al. Identification of the structure of the 3107 cm^{-1} H-related defect in diamond [J]. *Condensed Matter*, 2014, 26(14): 145801.
- [9] 宋中华, 陆太进, 苏隽, 等. 利用吸收和发光光谱技术分析高温高压天然富氢钻石的鉴定特征[J]. *岩矿测试*, 2018, 37(1): 64–69.
- [10] 宋中华, 陆太进, 唐诗, 等. HPHT 处理 HPHT 合成 I b 型钻石的光谱鉴定特征[C]//国家珠宝玉石质量监督检验中心 (National Gemstone Testing Center), 中国珠宝玉石首饰行业协会. 中国国际珠宝首饰学术交流会论文集, 2019: 19–22.
- [11] 张蓓莉主编. 《系统宝石学》[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [12] ALAN T. COLLINS. The colour of diamond and how it may be changed [J]. *The Journal of Gemmology*, 2001, 27(6): 341–359.
- [13] CHRISTOPHER M B, ANDY H S, SALLY E-M, et al. 21 Developments in gemstone analysis techniques and instrumentation during the 2000s[J]. *Gems & Gemology*, 2010, 46(3): 241–257.
- [14] BERNHARD D. Handbook of Spectral Lines in Diamond [M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
- [15] ALEXANDER M Z. Optical Properties of Diamond: A Data Handbook[M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- [16] 汪洋, 宋中华, 潘迪, 等. 多过程处理 IIa 型粉色钻石的鉴定特征[J]. *现代地质*. 2025, 39(1): 231–238.