

基于电子束辐照技术在琥珀和柯巴树脂中 生成根须状包体的研究

于 方¹, 范桂珍¹, 崔 磊²

(1. 北大宝石鉴定中心, 北京 100871; 2. 北京原子高科金辉辐射技术应用有限责任公司, 北京 102412)

摘 要: 血蜜蜡是 2015 年底我国市场上出现的琥珀新品种, 具有少见的颜色和独特的根须状包体(俗称“根系纹”)。根须状包体的成因目前尚无定论, 但其形态与绝缘材料经电子束辐照引发击穿放电产生的利希滕贝格图形有很高的相似性。琥珀和柯巴树脂作为绝缘材料经电子束辐照能否生成利希滕贝格图形尚未有报道。为此笔者收集了琥珀和柯巴树脂样品进行了电子束辐照实验。实验结果表明, 在适当的工艺条件下, 琥珀和柯巴树脂样品均可以通过电子束辐照技术产生根须状包体。辐照生成的根须状包体实则是琥珀和柯巴树脂样品被击穿放电形成的伴有应力裂纹的树枝状通道, 即利希滕贝格图形。样品经辐照生成的根须状包体与血蜜蜡样品中的根须状包体在形态特征上基本相同。

关键词: 琥珀; 血蜜蜡; 柯巴树脂; 利希滕贝格图形; 电子加速器; 辐照

中图分类号: P619.28⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2016)S1-0099-07

A study of root-like inclusions generated in amber and copal based on electron beam irradiation technology

YU Fang¹, FAN Gui-zhen¹ and CUI Lei²

(1. Gem Appraisal Center of Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing Atom High-Tech Jinhui Radiation Technology Application Co., Ltd., Beijing 102412, China)

Abstract: Blood Mila is a new kind of amber that has appeared on the market since last year, which has uncommon color and unique root-like inclusions (known as root-like patterns). There has been no definite conclusion about the genesis of such root-like inclusions so far. The root-like inclusions are extremely similar in morphology to the Lichtenberg figures in which the insulator initiates the generation of breakdown discharges through irradiation by electron beam technology. As insulators, whether amber and copal can generate Lichtenberg figures by the electron beam irradiation technology has not been reported yet. Therefore, the authors collected some amber and copal samples to perform electron beam irradiation test. The results show that the root-like inclusions can be generated in both amber and copal samples by the electron beam irradiation technology under appropriate process conditions. The root-like inclusions generated by irradiation are the dendritic channels with stress-related cracks generated by breakdown discharge in amber and copal samples, also named Lichtenberg figures. The root-like inclusions generated in tested samples by irradiation are almost the same in morphology as those in Blood Mila samples.

Key words: amber; blood Mila; copal; Lichtenberg figures; electron accelerator; irradiation

收稿日期: 2016-11-13; 修订日期: 2016-11-26

作者简介: 于 方(1950-), 理学硕士, 副教授, 主要从事珠宝玉石鉴定、教学和研究工作, E-mail: yufang@pku.edu.cn。

血蜜蜡是 2015 年我国市场上出现的琥珀新品种,据说产于乌克兰。血蜜蜡以少见的颜色和独特的根须状包体(俗称根系纹)为特征,主要呈橘黄色、橘粉色、橘红色(图 1a),内部常见有美丽的根须状包

体(图 1b)。根须状包体粗细不一,常由一点出发分形而成。血蜜蜡的根须状包体是天然形成的还是经人工处理形成的,目前尚无定论。

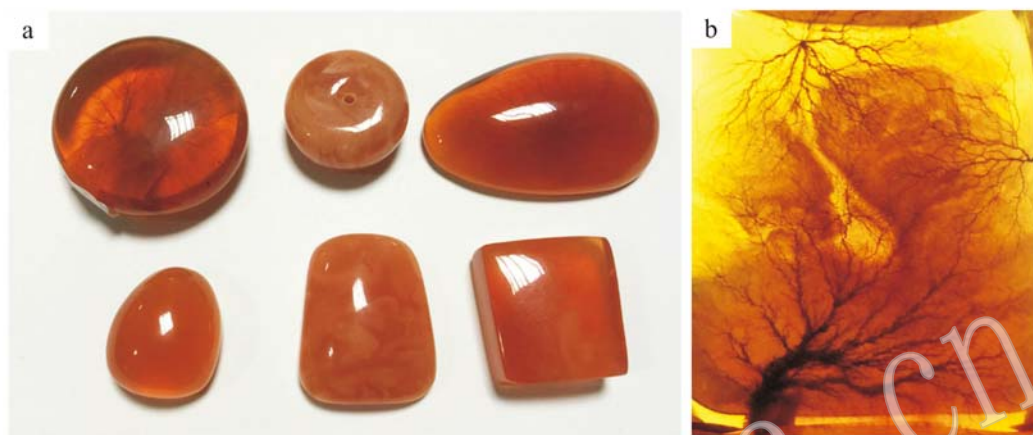


图 1 市场上常见的血蜜蜡

Fig. 1 Common blood Mila in the market

绝缘材料经聚集电子放电可形成树枝状图形,这种树枝状放电图形又被称为利希滕贝格图形(Lichtenberg figures)。利希滕贝格图形实际为一种分形,具有自相似的分枝结构(Stoneridge Engineering)。利希滕贝格图形是由德国物理学家利希滕贝格在 1777 年发现的,他使用起电盘加高压电于绝缘物质上而形成利希滕贝格图形。德国物理学家 Arno Brasch 和 Fritz Lange(肖如珀等译,2013)、巴西物理学家 Bernhard Gross 博士(1958)、中国学者刘子玉(1985)等做实验证明利用高能电子束在有机玻璃中注入电荷能够形成利希滕贝格图形。据英国《每日邮报》2009 年 12 月 3 日报道,美国雕刻家波特·赫克曼用 500 万伏的电子加速器在有机玻璃上轰击出“捕捉闪电”(利希滕贝格图形)工艺品。2015 年底,北京原子高科金辉辐射技术有限公司通过电子束辐照技术在有机玻璃中生成利希滕贝格图形(图 2)。

血蜜蜡中的根须状包体与绝缘材料经电子束辐照引发击穿放电产生的利希滕贝格图形有很高的相似性。琥珀和柯巴树脂,均为绝缘材料,电子束辐照技术能否在它们内部生成利希滕贝格图形(根须状包体),目前尚未有报道。为此笔者收集了琥珀和巴树脂样品进行电子束辐照实验。



图 2 金辉辐射公司利用电子束辐照技术在有机玻璃中产生的利希滕贝格图形

Fig. 2 Lichtenberg figures generated in acrylic using electron beam irradiation technology by Jinhui Radiation Company

1 实验样品

辐照实验样品共 19 个(图 3),包括 17 个原料样品和 2 个抛光样品(图 3h、3i),其中波罗的海琥珀样品 7 个(图 3a~3g)、缅甸琥珀样品 1 个(图 3h)、墨西哥琥珀样品 1 个(图 3i)、哥伦比亚柯巴树脂样品 10 个(部分见图 3j~3n)。实验样品颜色为浅黄色至

棕黄色,以透明至半透明为主,随形,大致长 1~5 cm,宽 1~3.5 cm,厚 1~2 cm,内部有流动纹、裂隙、气泡、昆虫等包体。

为了观察实验样品经电子束辐照生成的根须状

包体与血蜜蜡中根须状包体的差异,笔者也选取了一些具有根须状包体的血蜜蜡样品进行对比。血蜜蜡样品包括 4 个抛光样品(图 4a~4d)和 1 个原料样品(图 4e)。

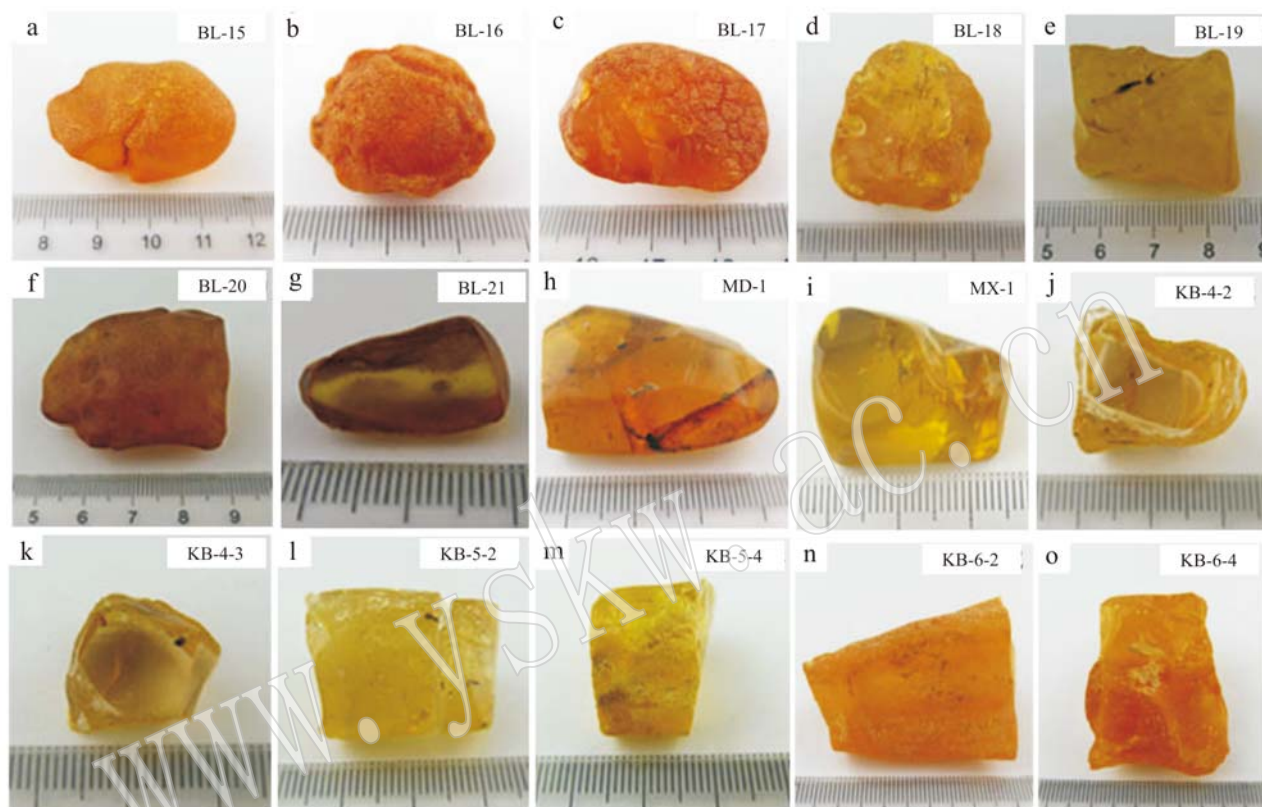


图 3 辐照出根须状包体的琥珀及部分柯巴树脂实验样品

Fig. 3 Amber and partial copal test samples to generate root-like inclusions by irradiation

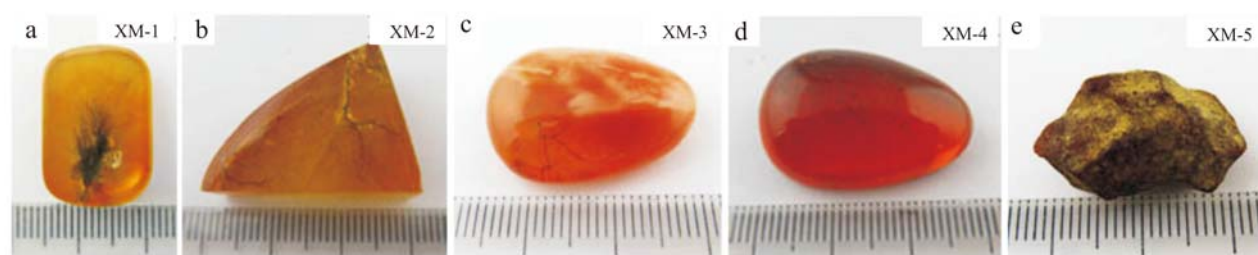


图 4 “血蜜蜡”对比样品

Fig. 4 “Blood Mila” samples for comparison

2 实验条件

实验采用的是 10 MeV/20 kW 大功率电子直线

加速器(图 5),它是利用高微波功率在行波、驻波加速结构中建立纵向电场对电子束进行加速的一种谐振式加速器(裴元吉,2013)。辐照实验在金辉辐射公司进行,实验人员为曹立安和齐亚楠。实验在常

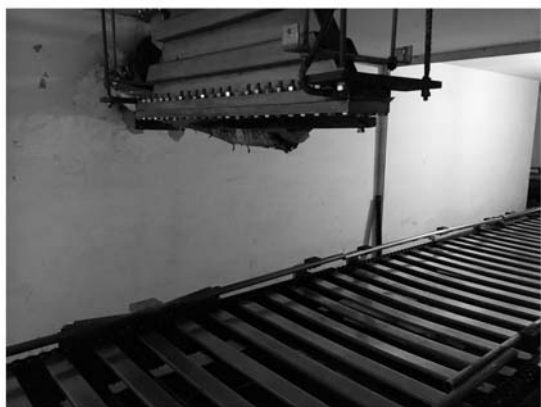


图5 实验所用的10 MeV/20 kW 大功率电子直线加速器

Fig. 5 10 MeV/20 kW high-power electron linear accelerator used for test

温常压下进行,辐照剂量为8~10 kGy,样品放在托盘上,置于加速器钛窗下的传送带上进行辐照。辐照后对原料样品进行抛光处理,以便在宝石显微镜下进行观察。照相采用的是尼康体视显微镜SMZ25。

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

经辐照后实验样品均出现了根须状包体(图6、图7)。实验中发现,辐照前有必要观察样品有无薄弱点(凹陷、裂隙等),若有明显薄弱点,则无需打孔,若无明显薄弱点,则需通过打孔以增加其薄弱点。

3.2 琥珀和柯巴树脂经辐照生成的根须状包体特征

琥珀和柯巴树脂经辐照生成的根须状包体的特征见图6、图7。根须状包体常由薄弱点触发(图6a~6e、图7a~7c),当样品中的电子蓄积到一定数量,便会选择薄弱点作为触发点瞬间放电而形成根须状包体。根须状包体由触发点开始分形,由粗至细呈树枝状图形。薄弱点处可见一个(图6a、图7a、7b)或两个以上(图6b~6e、图7c)的触发点。打孔后辐照,从打孔处作为触发点的几率大大增加(图7a)。根须状包体为击穿放电产生的通道,通道处常伴有大大小小的贝壳状应力裂纹(图6f、6g、图7d)。通常粗通道处的应力裂纹较大,细通道处的应力裂纹较小。有时在细通道处也能见到较大的贝壳状应力裂纹(图6h)。通过抛光使根须状包体出露至表面,可见其出露点呈破口状(图6i、6m、图7f)。

3.3 血蜜蜡中的根须状包体特征

在显微镜下观察,血蜜蜡原料样品中常可见薄弱点处分形而成的根须状包体(图8a)。血蜜蜡中的根须状包体粗细不一,上面布满大小贝壳状的应力裂纹(图8b~8e)。在抛光样品上有时可见根须状包体出露表面的破口(图8f)。血蜜蜡样品中的根须状包体,其形态与辐照生成的根须状包体基本相同。

3.4 电子束辐照生成根须状包体的成因分析

有机玻璃在受到较高能量电子束辐照后,电子射程末端会在有机玻璃中积累电荷,形成强电场,破坏介质内部结构,甚至产生诱发击穿(郑飞虎等,2005)。琥珀或柯巴树脂中之所以能生成利希滕贝格图形,主要是由于琥珀和柯巴树脂都是绝缘体,当其暴露在电子加速器所产生的高能电子束下,电子射程末端会在其内部聚集电荷,产生电场。当电场强度超过了琥珀或柯巴树脂的介电强度(介电材料所能承受的最大电场)时,某些薄弱点区域会突然被击穿放电,触发电子的逃逸。琥珀和柯巴树脂中的薄弱点主要位于凹陷、裂隙等位置,极易成为击穿放电的触发点。固体介质击穿后,会在击穿路径留下放电痕迹,如烧穿或熔化的通道以及裂缝等(赵智大,2015)。因此辐照实验样品生成的根须状包体实则是放电产生的通道,通道上伴随的贝壳状裂纹是由击穿放电引起的应力所致。

3.5 存在问题

利用加速器辐照琥珀和柯巴树脂样品生成根须状包体须在一定的工艺条件下进行,根须状包体的多少、粗细、大小带有很大的随机性,需要设法提高电荷积累效率,通过某些方法使根须状包体在一定程度上受控生长。

4 结论

(1) 在适当的工艺条件下,琥珀和柯巴树脂样品经电子加速器辐照可以产生根须状包体;辐照生成的根须状包体实则是实验样品被击穿放电形成的伴有应力裂纹的树枝状通道。

(2) 经辐照的琥珀和柯巴树脂样品中电子蓄积到一定数量,便会选择薄弱点作为触发点进行瞬间放电而形成根须状包体,即利希滕贝格图形。

(3) 实验样品经辐照生成的根须状包体与血蜜蜡样品中的根须状包体在形态特征上基本相同。

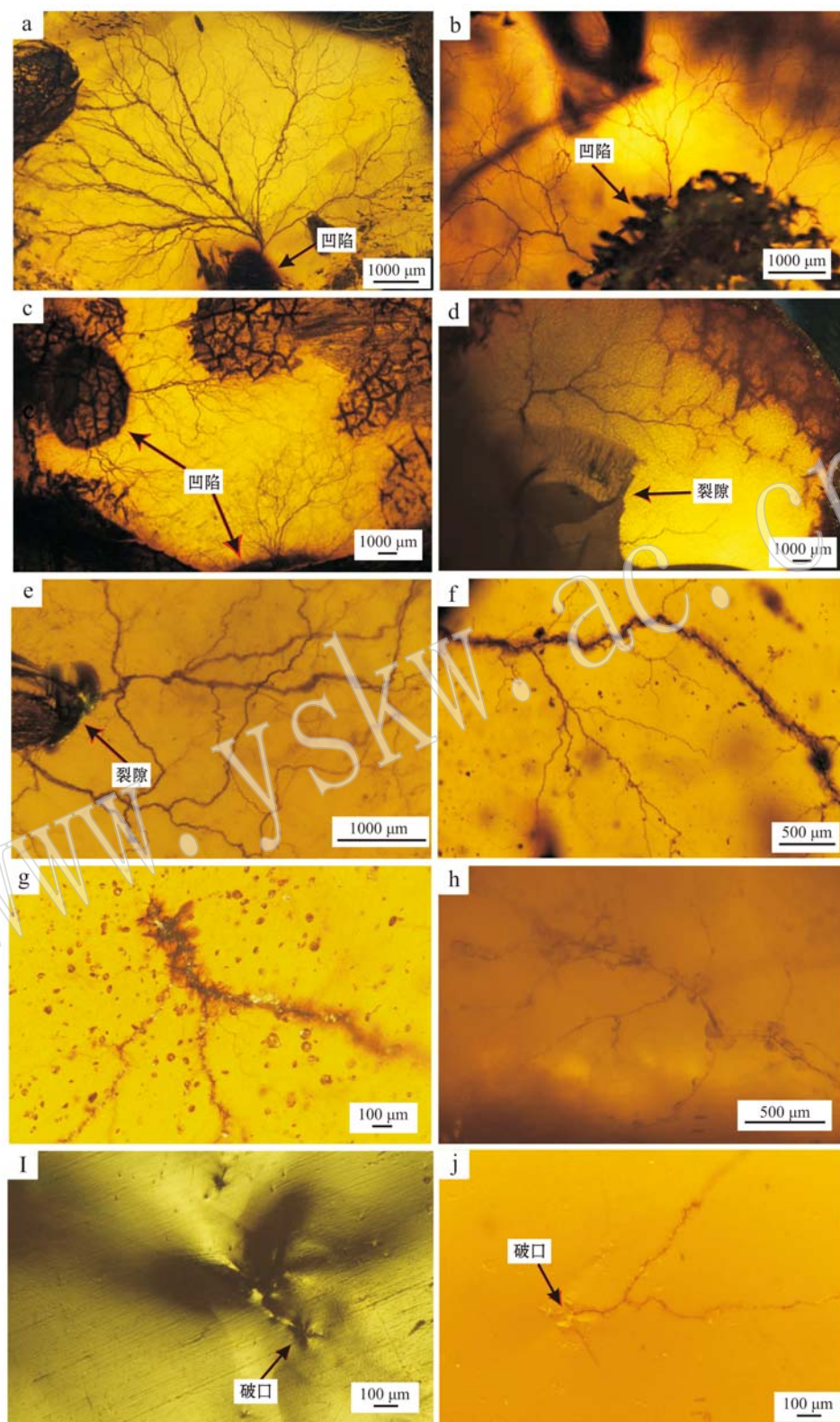


图 6 琥珀经电子束辐照生成的根须状包体特征

Fig. 6 Root-like inclusions characteristics generated in amber radiated by electron beam

a—BL-15 凹陷处触发生成的单个根须状包体(透射光); b—BL-16 同一凹陷处触发生成的多个根须状包体(透射光); c—BL-20 不同凹陷处触发生成的多个根须状包体(透射光); d—BL-17 裂隙处触发生成的两个根须状包体(透射光); e—MX-1 裂隙处触发生成的根须状包体(透射光); f—MD-1 粗通道处可见贝壳状应力纹(透射光); g—BL-19 靠近触发点的通道处可见贝壳状应力纹(透射光); h—BL-21 细通道处可见贝壳状应力纹(透射光); i—BL-18 根须状包体在表面的出露点(反射光); j—BL-18 根须状包体在表面的出露点(透射光)

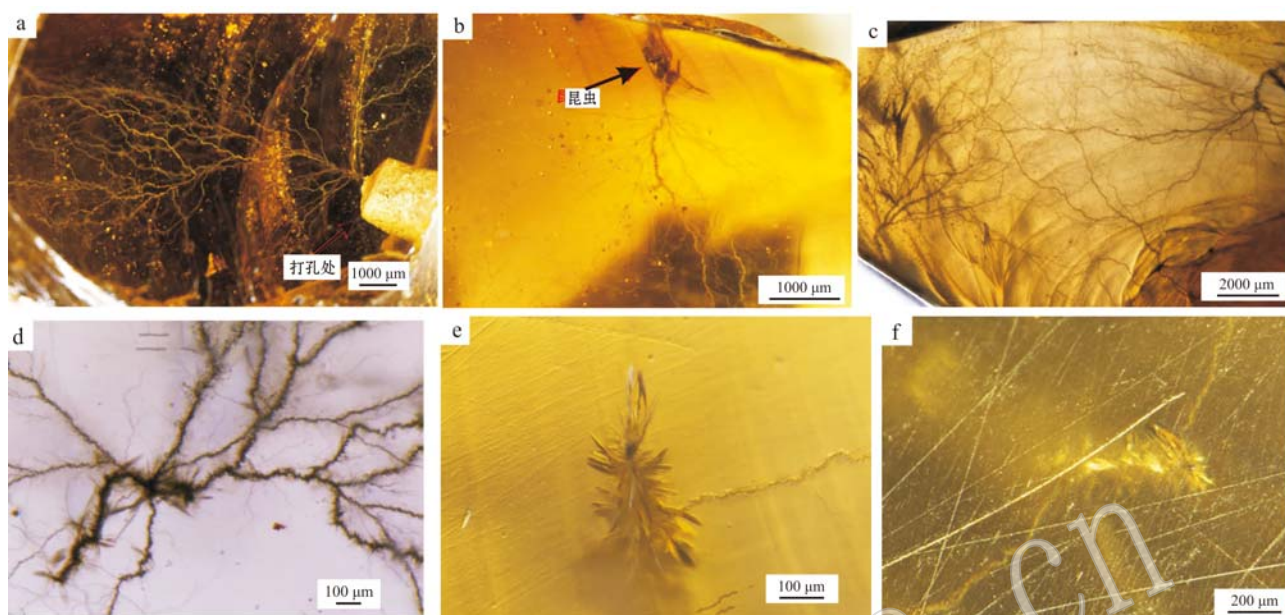


图 7 柯巴树脂经电子束辐照生成的根须状包体特征

Fig. 7 Root-like inclusions characteristics of copal radiated by electron beam

a—KB-4-2 打孔处触发的根须状包体(透射光); b—KB-4-3 昆虫包体触发的根须状包体(透射光); c—KB-6-4 由多个触发点产生的根须状包体(透射光); d—通道处可见细小应力纹(透射光); e—KB-5-4 近表面通道处的贝壳状裂纹(透射光+反射光); f—KB-5-4 通道表面的出露点(透射光)

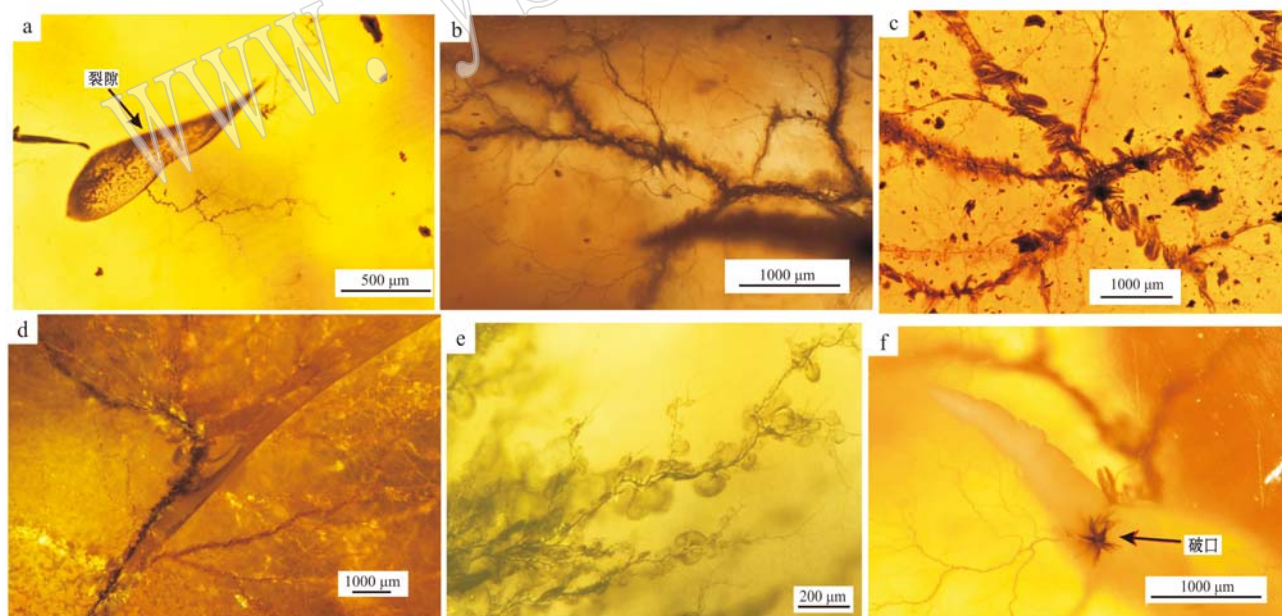


图 8 血蜜蜡中的根须状包体特征

Fig. 8 Root-like inclusions characteristics of blood Mila

a—XM-5 裂隙处触发的根须状包体(透射光); b—XM-3 根须状包体上布满细小应力裂纹(透射光); c—XM-4 根须状包体上的贝壳状应力裂纹(透射光); d—XM-2 根须状包体上的贝壳状应力裂纹(透射光); e—XM-1 根须状包体上的贝壳状应力裂纹(透射光); f—XM-3 根须状包体的出露点(透射光)

致谢 本文中的部分实验样品由昊天琥珀珠宝有限公司提供,“血蜜蜡”样品由陈超提供,辐照实验的过程中得到了金辉辐射公司曹立安、齐亚楠的大力支持与帮助,在此谨致以诚挚的感谢。

References

- Gross B. 1958. Radiation effects in plexiglas [J]. Journal of Polymer Science, 27: 135~143.
- Liu Ziyu, Liu Rongsheng, Wang Huiming, *et al.* 1985. Space charges and initiation of electrical trees[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 19(5): 25~33(in Chinese).
- Pei Yuanji. 2013. Design Basis of Electronic Linear Accelerator[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Xiao Rubo and Yang Xinnan. 2013. Discovery of Lichtenberg in November, 1977[J]. Modern Physics, 25(6): 53~54 (in Chinese).
- Zhao Zhida. 2015. High Voltage Technology(Third Edition)[M]. Beijing: China Electric Power Press, 64 (in Chinese).

- Zheng Feihu, Zhang Yewen, Xiao Chun, *et al.* 2005. Influence on permittivity of PMMA after electron beam radiation[J]. Journal of Sichuan University(Natural Science Edition), 42(S1): 337~340 (in Chinese).

附中文参考文献

- 刘子玉, 刘荣生, 王惠明, 等. 1985. 空间电荷与电树枝的引发[J]. 西安交通大学学报, 19(5): 25~33.
- 裴元吉. 2013. 电子直线加速器设计基础[M]. 北京: 科学出版社. 前言.
- 肖如珀, 杨信男译. 2013. 1777 年 11 月: 利希滕贝格图形的发现 [J]. 现代物理知识, 25(6): 53~54.
- 赵智大. 2015. 高电压技术(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 64.
- 郑飞虎, 张治文, 肖 春, 等. 2005. 电子束辐照对 PMMA 样品介电常数的影响研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 42(S1): 337~340.