[Article]

doi: 10.3866/PKU.WHXB201510232

www.whxb.pku.edu.cn

UF₄/KBr在空气中的室温水解及其热转化行为在线FT-IR研究

仲敬荣 邵 浪 余春荣 任一鸣*

(中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

摘要: 采用原位透射式傅里叶变换红外(FT-IR)光谱仪在线研究了UF₄/KBr在空气中室温条件下的水解反应及其热转化行为, 获取反应前后不同铀化合物的红外光谱变化图. 结果表明, UF₄/KBr在空气中的水解反应, 首先主要生成的是UO₂F₂及其水合物形式; 随着时间增长, 还伴生有U₃O₈, UO₂, UO₃等多种铀化合物; 加热过程中, UF₄/KBr的水解产物发生相互转化反应, 其中形成的铀酰化合物最后全部转变为铀的氧化物形式.

关键词: UF₄; FT-IR; 水解反应; 转化行为

中图分类号: O641

In-situ FT-IR Study of Hydrolyzation Reaction at Ambient Temperature and Thermal Transformation Behaviors of UF₄/KBr in Air

ZHONG Jing-Rong SHAO Lang YU Chun-Rong REN Yi-Ming*

(China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan Province, P. R. China)

Abstract: The hydrolyzation reaction and thermal transformation of UF₄/KBr in air at ambient temperatures were studied by *in-situ* transmission Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. The infrared spectra for a series of different compounds containing uranium before and after reaction were obtained. Following hydrolysis of UF₄/KBr in air, the primary products were UO₂F₂ and their hydrolysates. Other products, including U₃O₈, UO₂, and UO₃, appeared with increased reaction time. During the heating process, the hydrolysates of UF₄/KBr reacted with each other, finally yielding only uranium oxides.

Key Words: UF₄; FT-IR; Hydrolyzation reaction; Transformation behavior

1 引言

铀的卤化物是制备铀金属工艺过程中的重要化合物, 工艺上最重要的方法是用镁或钙热还原铀的卤化物, 其中四氟化铀(UF₄)就是最常用的卤化物之一. 国外的研究者们^[1-3]曾广泛地研究了铀的卤化物, 早在20世纪50–60年代, 对于铀的卤化物的制备、化学性质和物理性质都有详细报道, 其中也包括铀的氟化物, 并已鉴定证明铀的氟化物主要有: UF₃, UF₄, U₄F₁₇, U₂F₉, UF₅, UF₆等. 1975年, Levy等^[4]利

用单晶衍射的方法对六氟化物的物相结构进行了表征, 随后Howard等^[5]还报道了 α -UF₅和U₂F₉以及其他氟化物的晶体结构. 1999年, Walker等^[6]在美国化学会志上发表文章对氟化铀酰及其水合物的合成、结构和表征进行了详细报道.

关于UF₄水解反应方面的研究, 最早是Ludwing和Kennelley^[7]开展的工作, 他们研究了用不同方法制备的UF₄样品在各种实验条件下的水解行为, 发现所有UF₄样品的水解反应均在一个较宽的

Received: August 25, 2015; Revised: October 23, 2015; Published on Web: October 23, 2015.

*Corresponding author. Email: renyiming@caep.cn; Tel: +86-816-3626995.

The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (21507118).

国家自然科学基金(21507118)资助项目

©Editorial office of Acta Physico-Chimica Sinica

转化率(α)范围内服从相界面速度(k)定律: $1 - (1 - \alpha)^{1/3} = kt$ (α 为水解转化率, k 为水解反应速率, t 为水解反应时间), 并测得 UF_4 水解反应的表现活化能(E_a)在48.5–54.0 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 之间. Matae和Niro⁸在等速升温条件下研究了 UF_4 和 UO_2F_2 的水解反应, 发现 UF_4 在300 $^\circ\text{C}$ 以下具有较快的水解反应速率, 而 UO_2F_2 在400 $^\circ\text{C}$ 以上才具有较快的水解反应速率. 并且水解速率的控制阶段皆为表面化学反应, 即反应过程的产生是由于吸附在 UF_4 固体表面上的水分子与 UF_4 分子相互作用的结果.⁹ 此外, Sherrow和Hunt¹⁰还报道了 UF_6 在不同低温下发生水解反应的红外光谱, 指认868.2和857.1 cm^{-1} 为 UOF_4 的特征吸收频率, UO_2F_2 在925 cm^{-1} 出现弱吸收, Aderson¹¹和Bostick等¹²的专著分别对 UF_6 氧化, 水解反应的红外、拉曼光谱研究及其机理探讨作了非常深入细致的研究和总结. 而 UF_4 化学反应过程的分子光谱研究则较少见报道.

国内在这方面的研究起步较晚, 主要是参照国外的研究开展了一些工作. 20世纪60年代, 宋维端¹³对 UF_4 和 UO_2F_2 与过热蒸汽作用的动力学机理进行过调研. 直到20世纪90年代, 康仕芳¹⁴和董晓雨¹⁵等对 UF_4 的制备和水解反应动力学进行了实验研究. 2005年, Lu等¹⁶利用量子化学密度泛函方法从理论角度研究了铀氟化物的结构和振动光谱.

本文采用原位透射式傅里叶变换红外(FT-IR)光谱分析技术, 在实验室环境条件(温度 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$, 相对湿度50%–70%)即明显检测到 UF_4/KBr 的水解反应产物, 并在线研究了 UF_4/KBr 水解产物的热转化行为, 获取反应前后不同铀化合物的红外光谱变化图, 同时对不同反应产物的化学组成进行了归属和指认, 可为 UF_4 粉末制备工艺的优化和高纯铀的纯化研究提供一定理论基础和技术支持, 也将为铀金属中杂质的来源及其在纯化工艺流程中的迁移, 以及不同物质化学形态的研究提供技术方法和基础数据.

2 实验部分

2.1 UF_4/KBr 试样片的制备

实验所用的 UF_4 样品来源于中核北方核燃料元件有限公司. 按照常规红外透射光谱KBr压片的制样方法, 首先将少量的 UF_4 原料样品置于玛瑙研钵中研磨细化, 再加入一定量(约是 UF_4 样品量的100倍)的光谱纯KBr粉末, 混合研磨均匀, 并在红外灯下烘

烤以除去吸附的水分; 然后放入专用模具中于9–10 MPa的压力条件下, 将其压制厚度 $< 0.1 \text{ mm}$, 直径约13 mm的翠绿色透明圆薄片, 以便进行透射式红外光谱测量.

2.2 主要仪器与分析参数

FT-IR光谱仪: 德国Bruker VERTEX 70型, 高能量, 空气冷却MIR/FIR陶瓷光源, DLaTGS检测器, 多层覆盖KBr宽带($150\text{--}6000 \text{ cm}^{-1}$)分束器, 扫描范围 $250\text{--}4000 \text{ cm}^{-1}$, 分辨率 4 cm^{-1} , 样品及背景扫描次数64次. 进行在线连续重复测量时, 测量之间的延时为5 min.

反应池附件: 厦门拓斯仪器装备开发有限公司, QIRS型石英不锈钢复合原位透射红外气-固反应池, 室温–800 $^\circ\text{C}$, 精度 $\pm 1^\circ\text{C}$, 50段程序控温, 压力2 MPa.

2.3 实验方法与过程

将QIRS型原位透射红外高/低温气-固反应池置于红外光谱仪的样品室内, 连接自行设计、加工和组装的不锈钢真空系统. 仪器光源发出的红外光经透明视窗(ZnSe等材质)或直接入射并穿过反应池内的 UF_4/KBr 样品片, 热电偶温控仪调节样品反应所需的温度或进行程序升温, 检测器收集并记录样品自身和发生化学反应的红外吸收光谱信号, 经数据处理即可获得试样反应过程及产物的实时特征红外谱图变化信息.

3 结果与讨论

3.1 UF_4/KBr 在空气中的室温水解反应

将已制备好的 UF_4/KBr 试样片暴露于实验室环境中约一个月左右, 试样片由初始的翠绿色透明状变为灰褐色半透明, 说明 UF_4 已发生了化学反应. 虽然, UF_4 本身不具有吸水性, 在空气中性质比较稳定. 但是, 由于KBr具有强吸水性, 将其与 UF_4 混合压片, 在室温条件一定时期的贮存过程中, 则为 UF_4 样品提供了较高湿度的水汽环境, 从而加速了 UF_4 的水解反应. 图1为 UF_4/KBr 试样片在空气中贮存不同时间(约9个月)后的红外吸收光谱变化情况.

由图1看出, UF_4/KBr 试样片在空气中室温贮存约一个月左右, 即已发生明显的水解反应, 表现在959和915 cm^{-1} 位置出现双峰, 由于水解产物的结晶水含量或物质形态不同, 二者分别归属于 UO_2^{2+} 中 $\text{O}=\text{U}=\text{O}$ 的反对称与对称伸缩振动;^{17–20} 同时, UF_4 初始状态在430 cm^{-1} 位置的 $\text{U}-\text{F}$ 键特征振动,^{21,22} 经过

图1 UF₄/KBr在空气中贮存不同时间的红外光谱Fig.1 Infrared spectra of UF₄/KBr after different immersion time in air

水解后呈现出三峰,并向低波数位移至403、355和275 cm⁻¹三处,将其归属于U—F, U—O—F及O—U—O的特征振动;^{11,23,24}另外,还在803和590 cm⁻¹两位置出现弱峰,分别归属于U₃O₈和UO₂的特征振动。²⁵⁻²⁸随着时间增长(约4月左右),UO₂²⁺的伸缩振动由双峰变为单峰(915 cm⁻¹),说明已形成了稳定形态的铀酰化合物,即UO₂F₂及其水合物形式UO₂F₂·nH₂O (n = 1-4)。¹²由于F和Br属于同族卤素元素,基本性质较为接近,当二者共存时可能会发生相互交换反应,因此UF₄/KBr的水解产物中还会有UO₂Br₂及其水合物形式存在。此外,在3425和1640 cm⁻¹位置的吸收峰分别是吸附水或游离水中O—H键的伸缩振动和弯曲振动;而3205和1401 cm⁻¹位置的吸收峰则是氢键缔合或结晶水中O—H键的伸缩振动和弯曲振动。²⁹

上述红外光谱分析的结果表明,UF₄/KBr试样片在空气中的水解反应首先主要生成的是UO₂(F/Br)₂,同时还伴生有U₃O₈, UO₂, UO₂(F/Br)₂·nH₂O (n = 1-4)等多种铀化合物,它们之间主要发生的化学反应方程式如下:

3.2 UF₄/KBr水解后的热转化反应

将已制备的UF₄/KBr试样片暴露于实验室环境中约2个月左右,利用原位透射红外气-固反应系统,开展UF₄/KBr样品水解后在空气中热转化反应的在

图2 空气中UF₄/KBr水解后热转化反应过程的红外光谱Fig.2 Infrared spectra of UF₄/KBr during thermal transformation reaction after hydrolyzation in air

线实验研究,分别进行了多个不同温度点(室温及100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 °C)的连续升温实验,其对应的红外光谱变化情况如图2所示。

由图2看出,UF₄/KBr在空气中水解后热转化反应过程的红外谱图变化范围主要表现在四个区域:3800-2800 cm⁻¹ (I区), 1800-1300 cm⁻¹ (II区), 1000-680 cm⁻¹ (III区)及600 cm⁻¹以下(IV区),分别对应于吸附水与结晶水中O—H键的伸缩振动和弯曲振动(I区, II区),铀酰化合物(III区)及铀氧化物之间(IV区)的转化反应。将这四个区域的红外谱图分别放大,得到如图3所示的局部变化谱图。图3中,沿箭头方向,温度依次升高。

由图3(a)和图3(b)看出,对于I区和II区,随着温度升高,吸附水中O—H键的吸收峰(3425, 1640 cm⁻¹)和结晶水中O—H键的吸收峰(3205, 1401 cm⁻¹)皆明显降低直至消失;其中,吸附水O—H键的峰下降速率较快,在250-300 °C范围基本观察不出,而结晶水O—H键的峰下降速率较慢,直到500-550 °C范围才不易被观察出来。

由图3(c)和图3(d)看出,对于III区,则是水解产物相互之间转化反应的主要区域,即铀酰化合物转化生成UO₃, U₃O₈, UO₂等的过程:室温-200 °C, UO₂²⁺的吸收峰(915 cm⁻¹)有所增强,且由室温的双峰(959, 915 cm⁻¹)变为915 cm⁻¹左右的单峰,说明水解产物已变为单一形态的铀酰化合物形式;250-400 °C, 915 cm⁻¹位置的峰向低波数位移,即250 °C时位移至910 cm⁻¹, 300 °C在902 cm⁻¹处, 350 °C至892

图3 空气中 UF_4/KBr 水解后热转化反应过程的红外光谱局部放大图

Fig.3 Partially amplificatory infrared spectra of UF_4/KBr during thermal transformation reaction after hydrolyzation in air

(a) I area, O—H bands stretching vibration; (b) II area, O—H bands bending vibration; (c) III area, thermal transformation of hydrolyzation products; (d) III area, IR spectra of U_3O_8 ; (e) IV area, IR spectra of UO_2 ; (f) IV area, IR spectra of U—F, U—O—F and O—U—O

cm^{-1} , 400 $^{\circ}\text{C}$ 则在902 cm^{-1} 左右, 并且峰强皆有所降低, 峰形也有所展宽, 可将其归属于水解/转化生成 UO_3 的特征振动; 同时, 随着温度升高, 838、801、758和705 cm^{-1} 位置的吸收峰皆逐渐增强, 则将其归属于水解/转化生成 U_3O_8 的特征振动; 450–600 $^{\circ}\text{C}$, 主要是铀氧化物之间的转化反应, 直至全部转变为 U_3O_8 ; 并且随着温度升高, U_3O_8 和 UO_2 的特征吸收峰(图3(d)和图3(e))也是明显增强的, 只是 UO_2 的特征振动随温度升高向低波数有所位移, 即590 $\text{cm}^{-1} \rightarrow$

587 $\text{cm}^{-1} \rightarrow$ 583 cm^{-1} . 由图3(f)可以看出, 随着温度升高, U—F、U—O—F的特征振动逐渐减弱, 但在500 $^{\circ}\text{C}$ 以上, 各峰又有所增强, 则归属于 U_3O_8 中O—U—O的特征振动。

对于 UF_4/KBr 水解后的热转化反应过程, 变化比较显著的特征红外吸收峰主要是 UO_2^{2+} 、 U_3O_8 和 UO_2 , 其中, U_3O_8 和 UO_2 的U—O键特征红外吸收(838, 801, 758, 705和583 cm^{-1})强度与温度的变化关系如图4所示. 由图4看出, 各峰的强度随着温度升高皆

图4 U—O键的红外吸收强度随温度的变化关系

Fig.4 Change relationship between the infrared absorbance intensities of U—O bands and the temperatures

是明显增强的, 其中838和801 cm^{-1} 的增幅较大, 并且838, 801和758 cm^{-1} 三峰随温度变化出现了两个拐点(300和450 $^{\circ}\text{C}$ 左右). 也就是说, 300 $^{\circ}\text{C}$ 以下主要是 UF_4 水解产生的 U_3O_8 , 300–450 $^{\circ}\text{C}$, 则是多种水解产物($\text{UO}_2\text{F}/\text{Br}_2$, UO_3 和 UO_2 等)热转化生成 U_3O_8 , 450 $^{\circ}\text{C}$ 以上, 主要是铀氧化物之间(UO_3 和 UO_2 等)转化形成 U_3O_8 . 此外, 对于705和583 cm^{-1} 两峰, 其强度随温

图5 UF_4/KBr 空气中水解后加热不同温度和时间红外光谱Fig.5 Infrared spectra of UF_4/KBr under different temperatures and time after hydrolyzation in air

color on web version

度变化则比较平缓, 说明在 UF_4 的水解及该温度范围的热转化过程还一直存在少量的 UO_2 .

3.3 恒温过程的变化情况

将室温贮存约2个月的 UF_4/KBr 试样片置于原位透射红外气-固反应系统中, 依次进行了100 $^{\circ}\text{C}$ 24

图6 UF_4/KBr 水解后加热不同温度和时间O—H键的红外光谱Fig.6 Infrared spectra of O—H bands after UF_4/KBr hydrolyzation under different temperatures and time

(a) 100 $^{\circ}\text{C}$ 24 h, O—H band stretching vibration; (b) 100 $^{\circ}\text{C}$ 24 h, change relationship of O—H band intensities as a function of time; (c) 300 $^{\circ}\text{C}$ 10 h, O—H band stretching vibration; (d) 400 $^{\circ}\text{C}$ 19 h, O—H band stretching vibration

h, 300 °C 10 h, 400 °C 19 h的恒温实验, 红外光谱仪在线监测UF₄/KBr水解产物热转化反应过程各峰的变化情况(图5所示), 测量间隔延时为5 min.

由图5看出, 水解后的UF₄/KBr试样片在100, 300和400 °C的恒温过程中, 变化比较明显的谱峰主要是O—H (I区, II区)(图6所示)和UO₂²⁺ (III区)的特征振动(图7所示). 图6和图7中, 沿箭头方向, 时间依次增长.

由图6看出, UF₄/KBr水解后在100 °C恒温过程, 随着时间延长, 3700–2800 cm⁻¹范围的O—H峰逐渐减弱(图6(a)), 说明吸附水在不断减少, 其在初始的1 h内, O—H峰的强度呈直线下降趋势(图6(b)); 而在300 °C恒温过程, 结晶水的O—H峰基本变化不大(图6(c)), 说明水解产生的水合物形式在该温度条件还是比较稳定的; 但在400 °C恒温过程, 结晶水的O—H峰逐渐减弱(图6(d)), 说明水解产生的水合物在该温度条件开始失去结晶水, 或转化生成其它的化合物形式.

由图7(a)看出, 水解后的UF₄/KBr试样片在100 °C恒温过程, 其在1000–850 cm⁻¹范围的UO₂²⁺峰有所增强, 并由室温时的双峰(959, 915 cm⁻¹)逐渐转变为单峰(915 cm⁻¹), 而且还向低波数发生了位移; 即959 cm⁻¹的峰位移至948 cm⁻¹左右, 大约10 h后基本消失, 而915 cm⁻¹的峰则位移至911 cm⁻¹左右. 该实验结果进一步表明, UF₄/KBr试样片的水解产物在100 °C恒温过程, 逐渐转变为稳定的或单一形态的铀酰化合物及其水合物形式.

由图7(b)看出, 该试样片在300 °C恒温过程, 其在1000–860 cm⁻¹范围内, UO₂²⁺的峰(908 cm⁻¹)逐渐降低并向低波数位移至894 cm⁻¹左右, 将其归属于UO₃的特征振动; 同时在860–700 cm⁻¹范围内, 838和801 cm⁻¹两处的吸收峰明显增强, 则归属于U₃O₈的特征振动; 说明UF₄/KBr的水解产物之间已经发生了明显的相互转化反应, 即UO₂²⁺ → UO₃, U₃O₈. 它们之间主要存在的化学反应方程式如下:

由图7(c)看出, 该试样片在400 °C恒温过程中, 变化比较明显的谱峰则是UO₂²⁺和UO₃逐渐趋于完

全转变为U₃O₈的特征振动(III区), 表现在900 cm⁻¹附近的峰基本消失, 860–700 cm⁻¹范围内的各峰皆明显增强. 其在1000–860 cm⁻¹范围内, UO₃的特征峰(891 cm⁻¹)逐渐降低并向高波数位移至905 cm⁻¹左右, 约15 h后基本消失; 同时在860–700 cm⁻¹范围内, 838、801和758 cm⁻¹三处U₃O₈的特征吸收峰明显增强, 说明铀的氧化物形式趋于全部转化为U₃O₈, 即UO₂²⁺ → UO₃ → U₃O₈. 它们之间主要存在的化学反应方程式如下:

图7 UF₄/KBr水解后加热不同温度和时间UO₂²⁺的红外光谱

Fig.7 Infrared spectra of UO₂²⁺ after UF₄/KBr hydrolyzation under different temperatures and time

(a) 100 °C 24 h, IR spectra of UO₂²⁺; (b) 300 °C 10 h, IR spectra of UO₂²⁺ → UO₃, U₃O₈; (c) 400 °C 19 h, IR spectra of UO₂²⁺, UO₃ → U₃O₈

4 结 论

通过相关实验条件的设计与控制,开展了UF₄/KBr在空气中的室温水解反应及其热转化行为研究,在线获取了实验条件下反应前后不同铀化合物的红外吸收变化谱图,并得出如下结论:

(1) UF₄虽然在空气中自身比较稳定,但是将其与KBr混合压片, KBr的强吸水性为UF₄营造了适宜的化学反应氛围,能够加速UF₄的水解。

(2) UF₄/KBr在空气中室温贮存约一个月左右,即已发生明显的水解反应,主要生成UO₂F₂及其水合物形式;随着时间增长,还有U₃O₈、UO₂、UO₃等多种铀化合物生成。

(3) 200 °C以下, UF₄/KBr在空气中的水解反应占主导优势; 200–400 °C, 水解产物发生相互转化反应; 400 °C以上, 主要是铀氧化物之间的转化反应,直至最后全部转变为U₃O₈。

(4) UF₄原料产品的储存应避免高湿、高温或高盐分的环境,否则极易发生化学反应。

References

- (1) Katz, J. J.; Rabinowitz, E. *The Chemistry of Uranium*; McGraw-Hill Book Co. Ltd.: New York, 1951.
- (2) Cordfunke, E. H. P. *The Chemistry of Uranium*; Elsevier Pub. Co.: Amsterdam-London-New York, 1969.
- (3) DeWitt, R. *Uranium Hexafluoride: a Survey of the Physico-Chemical Properties*; GAT-280, Goodyear Atomic Corporation: Portsmouth, Ohio, 1960.
- (4) Levy, J. H.; Taylor, J. C.; Wilson, P. W. *Journal of the Chemical Society-Dalton Transactions* **1976**, 219.
- (5) Howard, C. J.; Taylor, J. C.; Waugh, A. B. *Journal of Solid State Chemistry* **1982**, 45, 396. doi: 10.1016/0022-4596(82)90185-2
- (6) Walker, S. M.; Halasyamani, P. S.; Allen, S. J. *Am. Chem. Soc.* **1999**, 121, 10513. doi: 10.1021/ja992145f
- (7) Ludwig, F. J.; Kennelley, J. A. *The Pyrohydrolysis of Green Salt*; USAEC Rep MCW-1419, 1958.
- (8) Matae, I.; Niro, I. *J. Nucl. Sci. Technol.* **1983**, 20 (5), 400. doi: 10.1080/18811248.1983.9733409
- (9) Xu, H. Q.; Qiu, L. F. *Transformation Technology of Uranium Compounds*; Atomic Energy Press: Beijing, 1994. [许贺卿, 邱履福. 铀化合物转化工艺学. 北京: 原子能出版社, 1994.]
- (10) Sherrow, S. A.; Hunt, R. D. *J. Phys. Chem.* **1992**, 96 (3), 1095. doi: 10.1021/j100182a015
- (11) Anderson, S. P. *A Study of the Hydrolysis of Uranium Hexafluoride by Fourier Transform Infrared Spectroscopy*; DE85 012871, 1982.
- (12) Bostick, W. D.; McCulla, W. H.; Pickrell, P. W. *Sampling, Characterization, and Remote Sensing of Aerosols Formed in the Atmospheric Hydrolysis of Uranium Hexafluoride*; DE86 006341, 1984.
- (13) Song, W. D. *Study on Kinetics Mechanism of Pyrohydrolysis Reaction about UF₄ and UO₂F₂ with Steam-Gas*; Technological Information Institute of China: Beijing, 1965. [宋维端. UF₄ 和 UO₂F₂ 与过热蒸汽作用的动力学机理的研究. 北京: 中国科技情报研究所, 1965.]
- (14) Kang, S. F.; Zhao, J. *Journal of Nuclear and Radiochemistry* **1998**, 20 (4), 202. [康仕芳, 赵 君. 核化学与放射化学, **1998**, 20 (4), 202.]
- (15) Dong, X. Y.; Zheng, X. B.; Song, Y. L. *Journal of Nuclear and Radiochemistry* **2014**, 36 (3), 181. [董晓雨, 郑小北, 宋昱龙. 核化学与放射化学, **2014**, 36 (3), 181.]
- (16) Lu, C. H.; Sun, Y.; Chen, W. K.; Qiu, S. Y. *Nuclear Science and Techniques* **2005**, 16 (3), 145.
- (17) Zhong, J. R.; Shao, L.; Yu, C. R.; Ren, Y. M. *Acta Phys. -Chim. Sin.* **2015**, 31 (Suppl.), 25. [仲敬荣, 邵 浪, 余春荣, 任一鸣. 物理化学学报, **2015**, 31 (Suppl.), 25.] doi: 10.3866/PKU.WHXB201410311
- (18) Stefaniak, E. A.; Darchuk, L.; Sapundjiev, D.; Kips, R.; Aregbe, Y.; Grieken, R. V. *Journal of Molecular Structure* **2013**, 1040, 206. doi: 10.1016/j.molstruc.2013.02.012
- (19) Armstrong, D. P.; Bostick, W. D.; Fletcher, W. H. *Applied Spectroscopy* **1991**, 45, 108.
- (20) Armstrong, D. P.; Jarabek, R. J. *Applied Spectroscopy* **1989**, 43 (3), 461. doi: 10.1366/0003702894203002
- (21) Ho, D. L. M.; Jones, A. E.; Goulermas, J. Y.; Turner, P.; Varga, Z.; Fongaro, L.; Fanghanel, T.; Mayer, K. *Forensic Science International* **2015**, 251 (1), 61.
- (22) Lipp, M. J.; Jenei, Z.; Klepeis, J. P.; Evans, W. J. *Raman Investigation of the Uranium Compounds U₃O₈, UF₄, UH₃ and UO₃ under Pressure at Room Temperature*; LLNL-TR-522251, 2011.
- (23) Hunt, R. D.; Andrews, L. *J. Chem. Phys.* **1993**, 98 (5), 3690. doi: 10.1063/1.464045
- (24) Allen, G. C.; Holmes, N. R. *Applied Spectroscopy* **1994**, 48 (4), 525. doi: 10.1366/000370294775268893
- (25) Allen, G. C.; Butler, A. T. *Journal of Nuclear Materials* **1987**, 144, 17. doi: 10.1016/0022-3115(87)90274-1
- (26) Lü, J. B.; Li, G.; Guo, S. L. *Spectroscopy and Spectral Analysis* **2014**, 34 (2), 405. [吕俊波, 李 赣, 郭淑兰. 光谱学与光谱分析, **2014**, 34 (2), 405.]
- (27) Zhong, J. R.; Chu, M. F.; Xiao, S. *Journal of Nuclear and*

- Radiochemistry* **2010**, 23 (1), 27. [仲敬荣, 褚明福, 肖 洒. 核化学与放射化学, **2010**, 23 (1), 27.]
- (28) Zhong, J. R.; Xiao, S.; Chu, M. F. *China Measurement & Test* **2009**, 35 (2), 112. [仲敬荣, 肖 洒, 褚明福. 中国测试, **2009**, 35 (2), 112.]
- (29) Wu, J. G. *Recent Advances and Application in Technology of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*; Science Techniques and Literature Press: Beijing, 1994. [吴瑾光. 主编. 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用(上册). 北京: 科学技术文献出版社, 1994.]

2016年东方胶化杯全国胶体化学研究生优秀成果奖评选通知

为促进中国的胶体化学发展, 鼓励这一领域青年学生的进取精神, 2002年起特设立全国胶体化学研究生奖学金, 以表彰优秀的胶体化学专业研究生。

申请资格与范围

全国范围内各大学、科研机构在读的胶体化学专业研究生(含博士生)均有资格申请。申请人应在胶体与界面化学领域取得较为突出的创新性结果。发表一定数量的优秀科研论文(含已接受)。申请人的所有成果必须是在研究生阶段进行或完成的。在职研究生不参与本奖学金评选。对于积极参加全国胶体与界面专业委员会学术活动的科研小组, 将采取适度倾斜政策给予支持。

评选程序

(1) **本人申请:** 申请人需提交个人简历(含联系方式)、学术论文发表及已接受目录(含全部作者的正确顺序、期刊、年、卷(期)、页), 科研工作自评, 论文工作概况。发表论文的PDF文件。已接受文章须具备期刊的接收函(含Email)。并说明参加胶体与界面化学专业委员会的会议情况。

(2) **单位推荐:** 申请人须有本单位两名副教授以上职称的老师(含导师)推荐。各单位原则上最多推举两名。

(3) **专家评审:** 由胶体与界面化学专业委员会组织专家进行评审, 确定获奖名单。

评选进程

2016年3月1日前递交个人申请与推荐材料(含电子版和有签字的纸版, 特别注意提醒申请人及推荐人必须签字), 经专家评审后于2016年4月正式公布并举行颁奖仪式。

联系人: 黄建滨 Tel: 13701353283

Email: JBHuang@pku.edu.cn

邮寄地址: 北京大学化学与分子工程学院

邮政编码: 100871

本奖学金的设立获得了北京东方德菲胶体化学仪器有限公司大力支持与独家赞助。

本奖项评选工作的最终解释权在中国化学会胶体与界面化学专业委员会。

中国化学会胶体与界面化学专业委员会

2015年11月