Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 固体超强酸的 Mössbauer 谱研究

吴 勇<sup>1,2</sup> 马 刚<sup>1</sup> 胡玉海<sup>1</sup> 张 庆<sup>1</sup> 董 林<sup>\*,1</sup> 胡 征<sup>1</sup> 陈 懿<sup>1</sup> (<sup>1</sup>南京大学化学化工学院,南京 210093) (<sup>2</sup>南京师范大学化学系,南京 210097)

采用浸渍法制备了一系列  $Fe_2(SO_4)_3/\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 型固体超强酸样品,用 Mössbauer 谱和 XRD 研究了不同温度处理对样品中铁组分的存在状态及稳定性的影响,结果表明,随  $Fe_2(SO_4)_3$  含量的变化,铁组分可以在 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 表面以单层分散和无定形形式存在;当温度  $\geq 600^{\circ}$  时,无定形状态的  $Fe_2(SO_4)_3$  又生成晶态的  $Fe_2(SO_4)_3$ ,而形成的晶态  $Fe_2(SO_4)_3$  即使在 700°C 时也不分解。

关键词: Mössbauer 谱 固体超强酸 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 分类号: 0614 0647.11

随着环保意识在世界各国的不断增强以及对汽油等级要求的日益提高,固体超强酸催化 剂作为一类催化剂或催化剂前体在环境保护中的应用也越来越受到重视,其研究近年来在国 际催化领域中成为一个热点<sup>[1-3]</sup>。SO4<sup>2-</sup>促进型固体超强酸因其具有环境友好、热稳定性高、易 于分离产物等优点,被认为是一类很有应用前景的新型催化剂<sup>[1]</sup>。研究发现,在 SO4<sup>2-</sup>/M<sub>x</sub>O<sub>y</sub> (M = Zr, Ti, Fe 等)型催化剂中加入 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 会使正丁烷异构化反应活性大大增加<sup>[1]</sup>, SO4<sup>2-</sup>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -ZrO<sub>2</sub> 催化剂的酸强度与 SO4<sup>2-</sup>/ZrO<sub>2</sub> 基本相当,由于 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 ZrO<sub>2</sub> 的相互作用,使得 SO4<sup>2-</sup>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> 超强酸的酸位明显增多<sup>[3]</sup>,但是,对该类催化剂中分散组份的存在状态、酸位产生机 理及活性组分和载体之间的相互作用的本质尚缺乏深入了解。

对负载型催化剂表面相互作用的研究被认为是从本质上认识催化剂的作用及其物理化学 性质的有效途径<sup>[4~7]</sup>。在过去的几十年里,应用 XRD、XPS、SSIMS、LRS、TPR 和 TPD 等方法对 负载型催化剂的表面性质进行了较深入的研究<sup>[1,6]</sup>。Mössbauer 效应在研究含铁催化剂中铁物 种的性质方面有其独特的作用,而采用 Mössbauer 研究 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂的报道尚不 多见。本文以硫酸铁为前体,浸渍  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 后经不同温度焙烧得到负载型固体超强酸催化剂, 采用 Mössbauer 和 XRD 对其进行了研究。结果表明, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 的含量和焙烧温度对于铁的存 在状态均有影响,而 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 与  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 间较强的相互作用使 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 的热稳定性提高。

1 实验部分

取一定量的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · *x*H<sub>2</sub>O(上海场南化工厂, 经标定 *x* = 5. 8797, A. R.), 加适量水溶 解, 再于搅拌下加入一定量的  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(抚顺石化研究院, 经 800℃焙烧 4 小时后比表面积为 194. 7m<sup>2</sup> · g<sup>-1</sup>), 搅拌 4 小时后在 100℃下蒸干, 于 120℃烘 12 小时, 该样品分别于 300℃、

收稿日期:2001-06-07。收修改稿日期:2001-09-10。

国家博士点专项基金资助项目 (No. 98028434)。

<sup>\*</sup>通讯联系人。

第一作者 ;吴 勇 ,男 ,34 岁 ,博士 ;研究方向 :固体表面化学。

400℃、500℃、600℃、700℃下焙烧 4 小时, 样品如表 1 所示(其中 a 表示在 100m<sup>2</sup> γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 表面 上负载 0. 56mmol Fe<sup>3+</sup>)。

表 1 不同条件下制备的  $Fe_2(SO_4)_3 / \gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 样品命名表

Table 1  $Fe_2(SO_4)_3/\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Samples with Different Preparation Conditions

$Fe_2(SO_4)_3 / \gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	300℃	400°C	500°C	600℃	700℃
0. 14mmol/100m <sup>2</sup> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1/4a300	1/4a300			
0. 28mmol/100m <sup>2</sup> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1/2a300	1/2a300	1/2a300	1/2a300	1/2a300
0. 56mmol/100m <sup>2</sup> $Al_2O_3$	a300	a400	a500	a600	a700
$1.\ 09 mmol / 100 m^2\ Al_2O_3$	2a300	2a400	2a500	2a600	2a700
2. 37mmol/100m <sup>2</sup> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4a300	4a400	4a500	4a600	4a700
4. 48mmol/100m <sup>2</sup> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8a300	8a400	8a500	8a600	8a700
8. 95mmol/100m <sup>2</sup> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16a300	16a400	16a500	16a600	16a700

### 表 2 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>样品的 Mössbauer 参数

### Table 2 Mössbauer Parameters of Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Samples

samples	Fe specie 1			Fe specie 2		
	IS1/(mm $\cdot$ s <sup>-1</sup> )	QS1/(mm $\cdot$ s <sup>-1</sup> )	contents/%	IS2/(mm $\cdot$ s <sup>-1</sup> )	QS2/(mm $\cdot$ s <sup>-1</sup> )	contents/%
1/4a300	0.28	0.90	100			
1/2a300	0.26	0.96	100			
a300	0.39	1.08	87	0.11	1.14	13
2a300	0.40	1.00	89	0.11	1.15	11
4a300	0.43	1.00	92	0.13	1.12	8
8a300	0.38	1.42	45	0.39	0.72	55
16a300	0.39	1.42	41	0.42	0.64	59
1/4a400	0.27	0.65	100			
1/2a400	0.33	0.93	100			
a400	0.39	0.83	90	0.18	0.97	10
2a400	0.40	0.84	92	0.19	0.93	8
4a400	0.39	0.90	89	0.12	0.92	11
8a400	0.40	1.50	45	0.41	0.73	55
16a400	0.40	1.47	61	0.44	0.34	39
1/2a500	0.33	1.08	100			
a500	0.44	1.08	55	0.16	1.13	45
2a500	0.51	1.26	56	0.18	1.25	44
4a500	0.49	1.22	74	0.12	1.15	26
8a500	0.41	1.44	68	0.46	0.30	32
16a500	0.41	1.50	63	0.46	0.23	37
1/2a600	0.36	0.62	100			
a600	0.39	1.07	90	0.11	1.16	10
2a600	0.54	1.22	55	0.19	1.18	45
4a600	0.54	0.55	68	0.13	0.97	32
8a600	0.32	1.33	50	0.39	0. 25	50
16a600	0.39	1.43	38	0. 47	0.23	62
a700	0.49	1.23	40	0.17	1.19	60
2a700	0.38	0.95	70	0.10	0. 98	30
4a700	0.47	0.58	64	0.06	0.86	36
8a700	0.22	1.00	83	0.41	0.19	17
16a700	0.30	1.06	67	0.47	0.22	33

Mössbauer 实验在等加速 Mössbauer 谱仪上进行, 放射源为 20mCi <sup>57</sup>Co(Pd), 同质异能移相

第6期 吴 勇等:  $Fe_2(SO_4)_3 / \gamma - Al_2O_3$  固体超强酸的 Mössbauer 谱研究

对于 α-Fe 标定, 以 MUSFUN 程序拟合晶态 Mössbauer 谱, XRD 实验采用 Fe 靶。

# 2 结果与讨论

由于 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子的热力学半径约为 230 pm<sup>[8]</sup>,其估计的表面最大单层分散值约为 0.6mmol Fe<sup>3+</sup>/100m<sup>2</sup> γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>[9]</sup>,纯的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 和经不同温度焙烧的系列 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>样 品的 Mössbauer 谱见图 1 和图 2,用 MOSFUN 程 序拟合的结果见表 2,从 Mössbauer 谱的结果可 以看出,样品的 Mössbauer 谱主要呈现三种类型 的峰,即以 a300、a600 为代表的 IS = 0.39mm · s<sup>-1</sup>、QS = 1.08mm · s<sup>-1</sup>左右的较宽的双峰;以样 品 16a500 为代表的 IS = 0.40mm · s<sup>-1</sup>、QS = 1.44 ~ 1.50mm · s<sup>-1</sup>的顺磁双峰;和样品 16a700 中间部分出现的 IS = 0.47mm · s<sup>-1</sup>、QS = 0.22mm · s<sup>-1</sup>的双峰。



图 1 未焙烧的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 样品的 Mössbauer 谱 Fig. 1 Mössbauer spectrum of Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> sample without calcination



图 2 各种 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量的样品经不同温度焙烧 4 小时后的 Mössbauer 谱图 Fig. 2 Mössbauer spectra of Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/ γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> samples calcined at different temperatures for 4h

· 861 ·

2.1 低 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量样品经不同温度焙烧后的 Mössbauer 结果讨论

对于含量为 1/4a, 1/2a 的样品, 焙烧温度从 300℃至 700℃, 其 Mössbauer 谱上几乎都出 现 IS = 0.3mm · s<sup>-1</sup>、QS = 1.00mm · s<sup>-1</sup> 左右的双峰。随着 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量的增加, 此 Mössbauer 参数有所变化, 经拟合可视为两组双峰 (IS = 0.39mm · s<sup>-1</sup>和 IS = 0.11mm · s<sup>-1</sup>(a300)及 IS = 0.44mm · s<sup>-1</sup>和 IS = 0.16mm · s<sup>-1</sup>(a500))。与晶态的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 的结果相比(见图 1), 分散到  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 表面的 Fe<sup>3+</sup>离子的对称性大大降低, 这说明在 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量较少时, 分散态的铁物种 中 Fe<sup>3+</sup>由于占据  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 表面的四面体位或八面体位后<sup>[4]</sup>, 其配位结构对称性下降, 从而出现 两组顺磁双峰, 其四极分裂较高, 为 1.08 ~ 1.26mm · s<sup>-1</sup>, 远高于结晶态时的 0.25mm · s<sup>-1</sup>。 2.2 高 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量样品经不同温度后的 Mössbauer 结果讨论

当样品中 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>的含量较高时,如 1. 12~2. 24mmol/100m<sup>2</sup>  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(相当于 4a~8a), 经 300℃~500℃焙烧后,Mössbauer 谱上出现了 IS = 0. 40mm · s<sup>-1</sup>、QS = 1. 50mm · s<sup>-1</sup> 的顺磁 双峰,而当温度在 500℃以下时,此峰可稳定存在。当温度  $T \ge 600$ ℃时此顺磁双峰消失了。图 3 显示了样品在 300℃(a)和 600℃(b)的 XRD 衍射图,可以看出,8a300 样品中没有明显的衍 射峰,而 8a600 样品中则可以看出明显的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>晶体衍射峰。这说明在较低温度焙烧样品 时,随着 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>量的增加,表面铁物种在单层分散后,其余的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>以无定形形式存 在<sup>110]</sup>。从表 2 的参数可知,在样品 16a300 中已开始出现 IS = 0. 40mm · s<sup>-1</sup>、QS = 1. 50mm · s<sup>-1</sup> 的特征峰,说明这种无定形分散的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>在 300℃时就已存在,而且其存在的适宜温度为 400℃左右。当温度≥500℃时,无定形存在的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>会逐渐晶化形成晶相 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>,样品 16a500 正体现了这种过渡,其 Mössbauer 谱上同时存在无定形和晶态 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>吸收峰。到 600℃时,无定形的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>将全部转化为 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>晶体。另外,由于无定形 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>中的 Fe<sup>3+</sup>离子其对称性可能更低,所以四极分裂更大,为 1. 50mm · s<sup>-1</sup>左右,估计此时 Fe<sup>3+</sup>可能为 低自旋状态<sup>[11]</sup>。









2.3 载体  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的存在对 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 热稳定性的影响

对  $Fe_2(SO_4)_3$ 含量高的样品, 焙烧温度继续升高(如 16a700), Mössbauer 谱中无定形的  $Fe_2(SO_4)_3$ 特征峰将不存在, 取而代之的是 IS = 0. 47mm · s<sup>-1</sup>、QS = 0. 22mm · s<sup>-1</sup>的双峰, 它和  $Fe_2(SO_4)_3$ 的 Mössbauer 谱 (见图 1, IS = 0. 44 mm · s<sup>-1</sup>、QS = 0. 25mm · s<sup>-1</sup>)相比, Mössbauer 谱 参数十分接近, 所以该峰应为晶相  $Fe_2(SO_4)_3$ 的特征峰(由于纯  $Fe_2(SO_4)_3$ 样品中存在配位水的









图 5 600℃、700℃焙烧 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>・xH<sub>2</sub>O 样品 的 XRD 图

Fig. 5 XRD results of  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$  samples calcined at 600°C and 700°C

影响, 所以其四极分裂 QS 略大于 0. 22mm · s<sup>-1</sup>)<sup>[11]</sup>。XRD 的结果(见图 3)也支持该结论, 从图 3 中可以看出, 在 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量较低时, 样品中基本不出现 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 的特征峰, 这说明 Fe<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 确实分散到了  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 表面, 样品 8a600 中可明显看出 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 的衍射峰, 而且, 随着 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量的增加, XRD 中晶相 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 的衍射峰强度越来越大。

图 4 为纯 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 在 600℃下焙烧 4 小时后的 Mössbauer 谱, 主要为磁性  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的六线 谱<sup>[12]</sup>; 图 5 为样品在 600℃、700℃ 焙烧的 XRD 图, 其在 33 和 35. 5°附近的吸收峰与  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 一 致。这说明, 在该温度处理时, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 已不能稳定存在, 会失去硫组分生成磁性  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 但 是, 当有  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 存在时, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 即使在 700℃下也不会分解, 而以晶相稳定存在。这说明, Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中的晶相 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 有着很高的热稳定性。

3 结 论

(1) Mössbauer 和 XRD 研究结果表明, 当 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量较少时, 经 300<sup>°</sup>C ~ 700<sup>°</sup>C 处理后, 样品中的铁物种以单层分散到  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的表面; 随着 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 含量的增加, 当处理温度在 400<sup>°</sup>C 左右时, 它在  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 表面以无定形存在, 表面上无定形的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 在 500<sup>°</sup>C 以下能稳 定存在, 而升温至 600<sup>°</sup>C 或更高时, 无定形的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 会形成晶相的 Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>。

(2) 负载型  $Fe_2(SO_4)_3 / \gamma - Al_2O_3$  催化剂中由于  $\gamma - Al_2O_3$  的存在,对于体系中形成的晶相  $Fe_2(SO_4)_3$ ,在 700℃高温处理也不会分解,而单纯的  $Fe_2(SO_4)_3$  晶体经 600℃ 焙烧即分解变成  $\alpha$ - $Fe_2O_3$ ,这说明载体的存在能提高  $Fe_2(SO_4)_3$  的热稳定性。

#### 参考文献

- [1] Hua W. M., Xia Y. D., Yue Y. H., Gao Z. J. Catal., 2000, 196, 104.
- [2] Ji W. J., Shen S. K., Li S. B., Wang H. L. J. Mol. Catal., 1992, 6(2), 81.
- [3] XIA Yong-De(夏勇德), HUA Wei-Ming(华伟明), GAO Zi(高 滋) Gaodeng Xuexiao Huaxue Xuebao(Chem. J. Chinese Universities), 1999, 20, 92.
- [4] Dong L., Hu J. Q., Xu B., Chen Y. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(15), 1278.
- [5] Chen Y., Dong L., Jin Y. S., Xu B., Ji W. J. Stud. Surf. Sci. Catal., 1996, 101, 1293.

- [6] DONG Lin(董林), CHEN Yi(陈 懿) Wuji Huaxue Xuebao(Chinese J. Inorg. Chem.), 2000, 16(2), 248.
- [7] Wang J., Dong L., Hu Y. H., Zheng G. S., Hu Z., Chen Y. J. Solid State Chem., 2001, 157, 274.
- [8] JIN An-Ding(金安定), LIU Shu-Wei(刘淑薇), WU Yong(吴 勇) A Concise Tutorial of Inorganical Chemistry (高等无机化学简明教程), Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999.
- [9] Xie Y. C., Tang Y. Q. Adv. Catal., 1990, 37, 1.
- [10]GAO Zi(高 滋), CHEN Jian-Min(陈建民) Gaodeng Xuexiao Huaxue Xuebao(Chem. J. Chinese Universities),
  1994, 15, 873.
- [11]XIA Yuan-Fu(夏元复), CHEN Yi(陈 懿) Fundamental and Applied Mössbauer Spectrum(穆斯堡尔谱学基础 和应用), Beijing: Science Press, 1987.
- [12]MA Ru-Zhang(马如璋), XU Yin-Ting(徐英庭) Mössbauer Spectrum(穆斯堡尔谱学), Beijing: Science Press, 1998.

## Mössbauer Spectrum Study of $Fe_2(SO_4)_3/\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Solid Superacid

WU Yong<sup>1, 2</sup> MA Gang<sup>1</sup> HU Yu-Hai<sup>1</sup> ZHANG Qing<sup>1</sup> DONG Lin<sup>\*, 1</sup> HU Zheng<sup>1</sup> CHEN Yi<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Department of Chemistry, Nanjing University, Nanjing 210093) (<sup>2</sup>Department of Chemistry, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

A series of  $Fe_2(SO_4)_3 / \gamma - Al_2O_3$  solid superacid samples have been prepared by wet impregnation method. Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction (XRD) were employed to study the effects of the calcination temperature on the states and stabilization of iron species in  $Fe_2(SO_4)_3 / \gamma - Al_2O_3$ . The results showed that the iron species could exist as monolayer and amorphous states at the calcination temperature lower than 500°C, but the amorphous  $Fe_2(SO_4)_3$  transformed to crystalline  $Fe_2(SO_4)_3$  as the temperature increased to 600°C. The formed crystalline  $Fe_2(SO_4)_3$  could be stable even if the calcination temperature was up to 700°C.

Keywords: Mössbauer spectrum solid superacid  $Fe_2(SO_4)_3/\gamma - Al_2O_3$