

金属氮氢系贮氢材料催化反应动力学评述

王 强, 陈云贵, 陶明大, 吴朝玲

(四川大学, 四川 成都 610065)

摘 要: 阐述了金属氮氢系贮氢材料中 Li-N-H 体系和 Li-Mg-N-H 体系贮氢材料反应机制和催化动力学的研究进展, 分析讨论反应机制和反应动力学中的控制步骤。基于此, 进一步讨论不同催化剂对该体系贮氢材料吸放氢催化反应过程的影响, 并深入探讨不同催化剂与催化动力学的相关性, 为该体系贮氢材料的反应动力学催化研究提供参考。

关键词: 金属氮氢材料; 反应机制; 控制步骤; 催化剂; 反应动力学

中图分类号: TG 139⁺.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2009)09-1681-06

Li-N-H 系贮氢材料自 2002 年被研究报道以来^[1], 以其高贮氢容量和潜在的研究开发应用价值迅速引起国际学术界的广泛关注和研究。鉴于该体系的吸放氢反应温度高达 300 °C, 动力学缓慢, 碱金属、碱土金属元素及过渡族元素被引入该体系^[2-9], 以期获得较为温和的反应热力学和动力学。到目前为止, 在贮氢材料本征上改善其反应热力学的研究工作以 Li-Mg-N-H 体系贮氢材料的效果最为显著^[10-20]。据报道, Li-Mg-N-H 体系贮氢材料在放氢压力为 1×10^5 Pa 时的理论放氢温度为 90 °C 左右^[21], 基本满足质子交换膜燃料电池的工作温度。然而, 在进一步研究其反应动力学时, 则存在以下主要问题: (1)在放氢过程中不可避免地产生不定量的氨气^[22], 这势必造成燃料电池的电极污染, 也影响整个能源系统的工作效率, 且氨气的形成及其作用机制尚不明确; (2)在对该体系的反应机制研究过程中, 发现其反应机制与 Li-N-H 系贮氢材料有所不同, 且学术界对其反应机制氨气媒介反应机制^[23,24]和氢离子驱动反应机制^[25,26]两种不同的观点一直存在争议; (3)直至目前, 尚未发现合适的催化剂以改善该体系的吸放氢反应动力学, 在 NaAlH₄ 体系贮氢材料中获得良好效果的含 Ti 物质催化剂在该体系贮氢材料的催化动力学研究中却效果甚微^[27,28]。

本文在综述 Li-N-H, Li-Mg-N-H 体系吸放氢反应动力学和催化动力学最新研究进展的基础上, 着重分析两者在吸放氢反应机制和催化动力学等方面的异同和可借鉴之处。通过对反应机制和反应动力学的相关性分析, 以探讨吸放氢反应过程中的控制步骤, 进而采取相应措施来改善; 而催化动力学的分析则探索有效催化剂在金属氮氢体系贮氢材料中的应用, 为该体

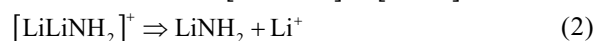
系贮氢材料的催化研究积累基础资料。

1 金属氮氢系贮氢材料反应动力学

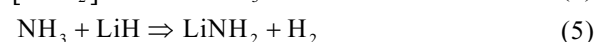
1.1 金属氮氢系贮氢材料反应机制

金属氮氢体系的吸放氢反应机制在学术界一直存在争议。不同的研究团队提出了不同的观点, 主要包括氢离子驱动反应机制、氨气媒介反应机制和锂离子迁移反应机制^[29]。而氢离子驱动反应机制和氨气媒介反应机制提出较早, 两者具体的比较分析评述详见文献^[30]。本文仅具体分析讨论锂离子迁移反应机制, 该反应机制以氨基物和亚氨基物的晶体结构为分析基础, 结合其中的锂离子弗兰克尔空位迁移理论, 总结概括出 Li-N-H 系贮氢材料的吸放氢反应过程。

LiNH₂ 晶体结构和 Li₂NH 的超晶体结构如图 1 所示。可以看出, 与 Li₂NH 的晶体结构相比, 前者包含一定量的锂离子弗兰克尔空位^[33,34]。在一定温度下, LiNH₂ 中的锂离子开始迁移, 其迁移过程如式(1)、式(2)和式(3)所示:



随后, 由锂离子迁移所形成的负离子团 $[\diamond\text{NH}_2]^-$ 和正氢离子结合释放出氨气, 氨气迅速与氢化锂发生放热反应, 实现 LiNH₂-LiH 体系贮氢材料的放氢过程, 该过程如式(4)和式(5)所示:



与氨气媒介反应机制相比, 该反应机制提出的锂离子迁移而导致氨基锂的分解观点, 更为详细的描述了反

收稿日期: 2008-09-15

作者简介: 王 强, 男, 1981 年生, 博士生, 四川大学材料科学与工程学院, 四川 成都 610065, 电话: 028-85466916, E-mail: wyscu@yahoo.cn

通讯作者: 陈云贵, 教授, 电话: 028-85400153, E-mail: ygchen60@yahoo.com.cn

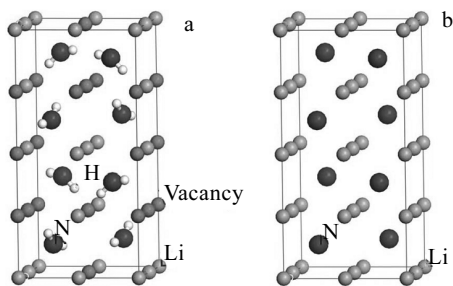
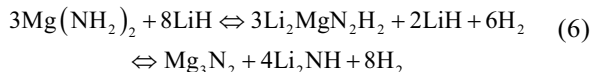


图 1 LiNH₂ 晶体结构和 Li₂NH 超晶体示意图

Fig.1 Crystal structures of solid LiNH₂ and superstructure of Li₂NH shifted by (1/4, 1/4, 1/4) to locate at a Li atom: (a) body-centered tetragonal unit cell of solid LiNH₂, space group: I-4, $a=b=0.5037\text{ nm}$, $c=1.0278\text{ nm}$ ^[31] and (b) superstructure of Li₂NH, Li₂NH, space group: F-43m, $a=0.50679\text{ nm}$ ^[32]

应过程，揭示了放氢反应过程中的微观机制。

而 Li-Mg-N-H 系贮氢材料的反应机制同样存在氢离子驱动反应机制和氨气媒介反应机制两种不同的反应机制，但都需要在理论上进一步完善和更多的实验结果来验证。最近，文献[35]采用原位同步加速 X 射线衍射和中子衍射对比例为 2:1 的 LiNH₂ 和 MgH₂ 的吸放氢过程进行原位观察，详细分析反应过程中的物质结构转变，并建立中间反应物质 Li₂MgN₂H₂ 的晶体结构，探讨其结构转变与温度的相关性。基于此，对比例为 3:8 的 Mg(NH₂)₂ 和 LiH 的反应过程作出如下解释：Mg(NH₂)₂ 和 LiH 以 1:2 的化学计量比完全反应，反应产物 Li₂MgN₂H₂ 随后与剩余的 LiH 继续发生反应，最终形成 Mg₃N₂ 和 Li₂NH 产物。此反应过程如式(6)所示：



而文献[36]则在此基础上更进一步认为，后期反应为富锂贫氢的亚酰胺物质 Li_{2+x}MgN₂H_{2-x} 与 LiH 的界面反应。氢化锂中的锂原子向亚酰胺物质 Li_{2+x}MgN₂H_{2-x} 迁移，而其氢负离子则与后者的氢正离子结合释放出氢气，该过程如图 2 所示。基于该体系贮氢材料吸放氢过程中一系列物质结构转变的原位观察实验事实，结合锂离子迁移反应机制提出了一些较为合理的解释。

1.2 金属氮氢系贮氢材料动力学控制步骤

根据上述锂离子迁移反应机制，可以认为锂离子的迁移速率直接影响 Li-N-H 系贮氢材料的吸放氢反应动力学。但是应该看到，锂离子迁移机制在原子层次上揭示了该体系反应过程的微观机制，考虑到反应

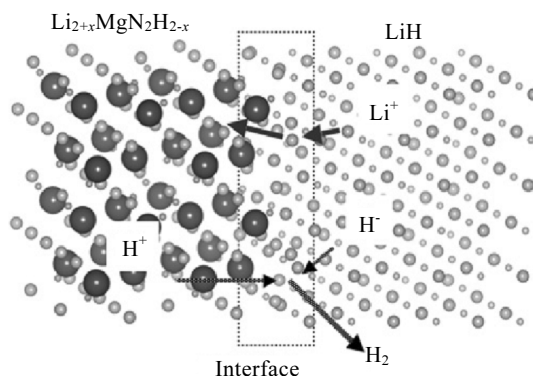
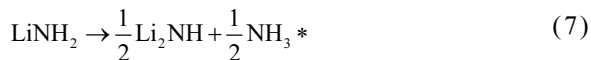


图 2 基于物质与电荷平衡的中间反应相 Li_{2+x}MgN₂H_{2-x} 的形成示意图

Fig.2 Formation scheme of Li_{2+x}MgN₂H_{2-x} phase based on the mass and charge balances^[36]

物的热物性等性质，该体系的反应动力学控制步骤还需要进一步的探索研究。文献[37]将 Li-N-H 系贮氢材料的放氢动力学过程划分为以下几个主要步骤：(1) LiNH₂ 的分解；(2)氨基物分解形成的氨气扩散通过产物层 Li₂NH；(3)逸出的氨气与 LiH 迅速反应释放出氢气。该反应过程示意图如图 3 所示，该文献根据金属的氧化形态与摩尔体积的 Pilling-Bedworth 比值关系式^[38,39]认为，产物 Li₂NH 与反应物 LiNH₂ 的 *P-B* 值小于 0.5，Li₂NH 则以疏松多孔的物质形态附着在反应物 LiNH₂ 的表面上；而反应生成的 LiNH₂ 与产物 LiH 的 *P-B* 值大于 2，LiNH₂ 则由于界面间的应力作用呈粉末状脱附 LiH 表面。由于 LiH 不断有新表面露出，故反应(5)的反应速度很快，以微秒级别迅速完成反应^[40]。基于此，该文献假定了放氢过程中可能的 3 个控制步骤：

(1) LiNH₂ 的分解步骤：



(2)氨基物分解形成的氨气扩散通过产物层 Li₂NH 的步骤：



(3) Li₂NH 表面氨气的脱附步骤：



其分别对应于反应动力学数学模型式(10)^[41]、式(11)^[42]和式(12)^[43]：

$$(1-f)^{\frac{1}{3}} = 1 - \frac{k_7 t}{R} \quad (10)$$

$$(1-f)^{\frac{1}{3}} = 1 - \frac{k_8^{\frac{1}{2}}}{R} t^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$(1-f)^{\frac{1}{3}} = 1 - k_9 R^2 t \quad (12)$$

式中： f 表示与时间相关的函数； t 表示每一段的放氢时间； k_7, k_8, k_9 ，分别表示式(7)、式(8)和式(9)的反应常数。通过对 $\text{LiNH}_2 + \text{LiH}$ 放氢反应动力学曲线的数值拟合，该文献认为拟合曲线与数学模型公式(11)最为相似。由此得出结论，该体系放氢反应过程中的动力学控制步骤为氨气在产物层 Li_2NH 的扩散过程；并且实验证实^[44]，通过高能球磨 45 min 后 LiNH_2 开始分解温度由 120 °C 下降到 50 °C，分解反应活化能由 243.98 kJ/mol 降低到 222.20 kJ/mol。由此可以说明，高能球磨能够有效改善反应物的表面形态。但是高能球磨是否能达到提高反应过程中氨气在产物 Li_2NH 中的扩散速率，从而达到改善 Li-N-H 系贮氢材料吸放氢反应动力学的目的还有待于更深入系统的研究。

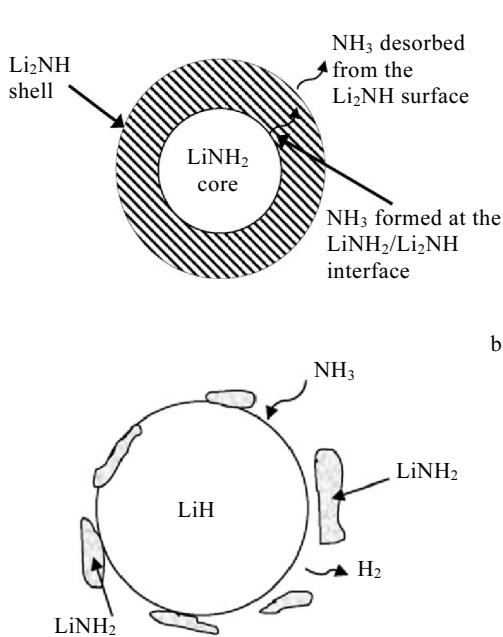


图 3 基于气固缩核反应模型的 Li-N-H 放氢反应过程示意图
Fig.3 Schematic of the hydrogen release pathway of the $\text{LiNH}_2 + \text{LiH}$ mixture: (a) Li_2NH product from Reaction (2) forms a continuous shell outside the LiNH_2 shrinking core, leading to a reaction rate controlled by NH_3 diffusion through the Li_2NH product layer and (b) the LiNH_2 product from reaction (3) flakes off continuously, resulting in direct reaction between NH_3 and constantly regenerated new LiH surface^[37]

而 Li-Mg-N-H 系贮氢材料体系较为复杂，且实验结果不相一致，争议较多。但鉴于上述该体系贮氢材料反应过程中物质结构转变的原位观察分析，其中间反应物质 $\text{Li}_2\text{MgN}_2\text{H}_2$ 的晶体结构与 LiNH_2 、 Li_2NH 具有相似性^[35]，若能结合锂离子迁移反应机制进行实验分析，定会推动该体系贮氢材料吸放氢反应动力学的研究进展。

2 金属氮氢系贮氢材料催化动力学

2.1 Ti 及其化合物催化动力学

钛及其化合物在金属络合物 NaAlH_4 贮氢材料的吸放氢反应动力学催化研究中取得了明显的效果^[45]，也得到学术界的广泛关注和认可。由此，在金属氮化物贮氢材料的反应动力学催化研究中，同样吸引了大多数研究者的目光。2005年，S. Isobe等人^[46]就报道了纳米钛 [$\text{Ti}(\text{nano})$]、纳米二氯化钛 [$\text{TiCl}_2(\text{nano})$]、 TiCl_3 和微米级别的 [$\text{Ti}(\text{micro})$]、 $[\text{TiO}_2(\text{micro})]$ 在 Li-N-H 贮氢材料中的催化作用。分别加入上述催化剂的 $\text{LiNH}_2 + \text{LiH}$ 贮氢材料放氢反应的气体分析如图4所示。可以看出，杂质气体在 [$\text{Ti}(\text{nano})$]、 $[\text{TiCl}_2(\text{nano})]$ 和 TiCl_3 催化作用下基本得到抑制，且放氢峰位较为尖锐，说明此3种催化剂改善了该贮氢材料的放氢反应速度；而添加了 [$\text{Ti}(\text{micro})$] 和 $[\text{TiO}_2(\text{micro})]$ 的材料反应放出气体峰形与没有添加催化剂的峰形较为一致，意味着微米级别的 [$\text{Ti}(\text{micro})$] 和 $[\text{TiO}_2(\text{micro})]$ 在该条件下对 Li-N-H 系贮氢材料不具有催化作用。

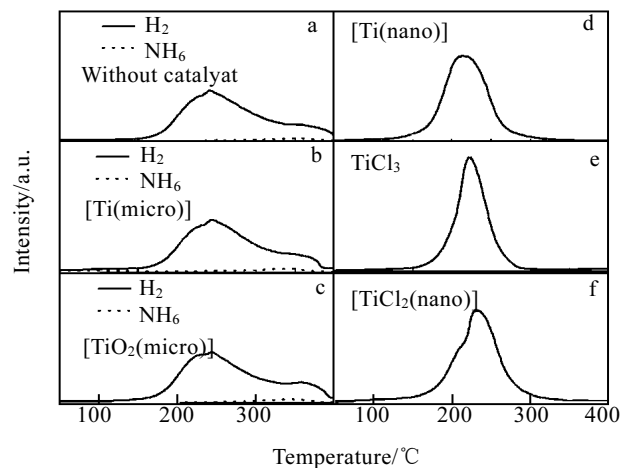


图 4 Li-N-H 试样添加不同催化剂的热脱附质谱分析图谱
Fig.4 TDS profiles for hydrogen and ammonia gas from each sample made of LiH , LiNH_2 and additive: (a) none, (b) $[\text{Ti}(\text{micro})]$, (c) $[\text{TiO}_2(\text{micro})]$, (d) $[\text{Ti}(\text{nano})]$, (e) TiCl_3 and (f) $[\text{TiO}_2(\text{nano})]$, heating rate 5 °C/min^[46]

与Ti掺杂NaAlH₄贮氢材料类似,在该体系贮氢材料的X射线衍射结构分析同样观测不到球磨后材料中的[Ti(nano)]、[TiCl₂(nano)]和TiCl₃催化剂物相。文献[47]采用X射线吸收近边结构分析XANES(X-ray Absorption Near-Edge Structure)和扩展X射线吸收精细结构分析EXAFS(Extended X-ray Absorption Fine Structure)等手段对放氢反应过程中的[TiO₂(nano)]和TiCl₃催化剂的电子状态进行了分析。分析认为,[TiCl₂(nano)]和TiCl₃中钛离子在材料中的化学价态较为相似,处在+3价和+4价之间;并认为这样的电子状态更有利于在材料中的催化作用。文献进一步研究发现,球磨制备的LiNH₂+LiH+1%TiCl₃和LiNH₂+1%TiCl₃(摩尔分数,下同)材料中的钛离子的电子状态较为一致,其结果如图5所示。由此认为,钛化合物类催化剂的催化作用是由于催化剂与LiNH₂在纳米尺度上的相互作用,而不是与LiH材料的相互作用。这一发现与上述改善LiNH₂的分解动力学而达到了改善LiNH₂+LiH贮氢材料放氢反应动力学^[44]的发现有着本质上的相似。然而,文献[27]在将TiCl₃添加到Mg(NH₂)₂+2LiH贮氢材料中却并没有改善该体系贮氢材料的反应动力学,而在采用Li-N-H体系贮氢材料的重复实验中也同样没有催化作用的发现。TiCl₃在金属氮氢系贮氢材料中的催化应用及其催化机制还有待于进一步的研究。

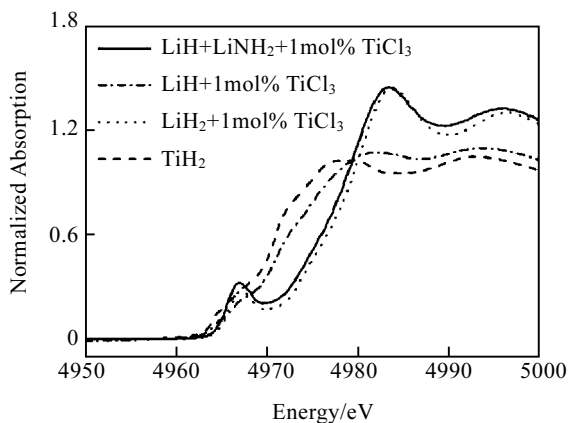


图5 LiH + LiNH₂+1% TiCl₃、LiNH₂+1% TiCl₃和LiH +1% TiCl₃及TiH₂的X射线近边结构分析(XANES)图谱

Fig.5 XANES profiles of Ti K-edges for composites of LiH and LiNH₂ with 1 mol% TiCl₃, LiH with 1 mol% TiCl₃ and LiNH₂ with 1mol% TiCl₃ and XANES profile of TiH₂ itself as a reference^[47]

2.2 金属、金属氧化物催化动力学

根据上述锂离子迁移反应机制,在金属氮氢系贮

氢材料中加入纳米级别的大原子金属,可以增加材料中的缺陷,有利于提高锂离子的迁移扩散速率,进而改善LiNH₂的分解反应动力学。文献[48]在LiNH₂+LiH体系贮氢材料中加入纳米Ni、Fe和Co的放氢测试表明,纳米Co能够有效抑制反应过程中氨气的逸出,但对该体系的放氢动力学无明显的正面影响,其催化效果不及TiCl₃和VCl₃。文献[49]研究发现,在LiNH₂中加入Mn、V、MnO₂、和V₂O₅均能改善LiNH₂的分解速率,但对LiNH₂+LiH体系贮氢材料的放氢速率却影响不大。结合上述该体系反应动力学控制步骤的分析可知,这些金属或者金属氧化物的加入提高了LiNH₂的热分解速率,但并没有改善氨气在产物层Li₂NH中的扩散速率,反应动力学瓶颈并没有得到解决。因此,这些物质的加入并没有达到反应动力学催化的作用。

Li-Mg-N-H体系贮氢材料反应机制尚不明确,同时也并没有发现有效的催化剂,这严重阻碍了该体贮氢材料的开发应用。最近文献[50]研究了采用单壁碳纳米管(Single-walled carbon nanotubes)催化,提高了该体系贮氢材料的放氢动力学性能,但其催化机制却尚不明晰。

3 结 语

金属氮氢系贮氢材料相对传统贮氢合金而言具有较高的贮氢容量,但其缓慢的吸放氢反应速率成为其工程应用的瓶颈。经过近几年的努力, Li-N-H体系和Li-Mg-N-H体系贮氢材料的研究工作取得了一定的进步,但相对于质子交换膜燃料电池等应用要求,其吸放氢反应温度还有待于进一步降低,吸放氢速度还有待于进一步提高。因此,该体系的吸放氢反应动力学和催化剂研究工作就具有重要而现实的意义。

1) 金属氮氢体系贮氢材料吸放氢反应机制一直存在争议。各自的理论均有一定的实验验证,但其理论工作尚需进一步的完善,同时也需要更为精确的实验验证。锂离子迁移反应机制揭示了Li-N-H体系贮氢材料在放氢过程中的微观反应机制,但在解释Li-Mg-N-H体系贮氢材料的放氢过程时则存在一定的困难。Li-Mg-N-H体系贮氢材料的吸放氢反应机制还需要进一步深入研究。

2) 金属氮氢体系贮氢材料吸放氢反应动力学中的控制步骤研究对于该体系贮氢材料的催化研究具有一定的指导意义。Li-N-H体系贮氢材料反应动力学研究表明:氨气在产物层Li₂NH中的传质过程为其控制步骤。但是,采用该理论解释Li-Mg-N-H体系贮氢材料的吸放氢反应动力学时,则由于反应机制不明确而

困难重重。有分析认为, 这是由于二者反应机制的不同而造成的。

3) 金属纳米 Ni、Fe、Co 和微米 Mn、V 及金属氧化物 MnO_2 、 V_2O_5 能够有效地抑制反应过程中的氨气的形成, 但对整个放氢反应过程的动力学却无明显作用。相反, TiCl_3 、 VCl_3 和 $\text{TiCl}_2(\text{nano})$ 能够明显提高放氢反应速度, 但含 Ti 物质在 Li-Mg-N-H 体系贮氢材料反应过程中的催化作用却不明确。

参考文献 References

- [1] Chen Ping *et al.* *Nature*[J], 2002, 420: 302
- [2] Xiong Zhitao *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, 441: 152
- [3] Xiong Zhitao *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2005, 395: 209
- [4] Liu Yongfeng *et al.* *J Power Source*[J], 2006, 159: 135
- [5] Satoshi Hino *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2005, 398: 62
- [6] Jianjiang Hu *et al.* *J Power Source*[J], 2006, 159: 116
- [7] Xiong Zhitao *et al.* *J Power Source*[J], 2006, 159: 167
- [8] Liu Yongfeng *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, 56: 817
- [9] Ma Laipeng, Wang Ping *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2008, 466: L1
- [10] Luo W. *J Alloys Compd*[J], 2004, 381: 284
- [11] Barison S, Agresti F *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2008, 459: 343
- [12] Luo W *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2006, 407: 274
- [13] Leng H Y *et al.* *J Power Source*[J], 2006, 156: 166
- [14] Okamoto K *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, 432: 289
- [15] Ichikawa T *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2005, 400: 245
- [16] Leng H Y *et al.* *J Phys Chem B*[J], 2004, 108: 8763
- [17] Chen Y *et al.* *Int J Hydrogen Energy*[J], 2006, 31: 1236
- [18] Yang J *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, 430: 334
- [19] Aoki M, Noritake T *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, 428: 307
- [20] Markmaitree T *et al.* *Int J Hydrogen Energy*[J], 2008, 33: 3915
- [21] Xiong Z *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2005, 398: 235
- [22] Satoshi Hino, Takayuki Ichikawa *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, (446-447): 342
- [23] Ichikawa T *et al.* *J Phys Chem B*[J], 2004, 108: 7887
- [24] Leng Haiyan, Takayuki Ichikawa *et al.* *J Phys Chem B*[J], 2005, 108: 10 744
- [25] Chen P, Xiong Zhitao *et al.* *J Phys Chem B*[J], 2003, 107: 10 967
- [26] Chen P, Xiong Zhitao *et al.* *J Phys Chem B*[J], 2006, 110: 14 221
- [27] Raphaël Janot, Jean-Bruno Eymery *et al.* *J Power Source*[J], 2007, 164: 496
- [28] Ma Laipeng, Wang Ping *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2008, 468: L21
- [29] William David I F, Martin Jones O *et al.* *J Am Chem Soc*[J], 2007, 129: 1594
- [30] Wang Qiang(王 强), Chen Yungui(陈云贵) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2008, 37(3): 382
- [31] Von Jacobs H, Juza R. *Z Anorg Allg Chem*[J], 1972, 391: 271
- [32] Ohoyama K, Nakamori Y, Orimo S *et al.* *J Phys Soc Jpn*[J], 2005, 74: 483
- [33] Noritake T, Nozaki H, Aoki M *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2005, 393: 264
- [34] Balogh M P, Jones C Y, Herbst J F *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2006, 420: 326
- [35] Job Rijssenbeek, Yan Gao *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2008, 454: 233
- [36] Tessui Nakagawa, Takayuki Ichikawa *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, 430: 217
- [37] Leon Shaw L, William Osborn *et al.* *J Power Source*[J], 2008, 177: 500
- [38] Pilling N B, Bedworth R E. *J Inst Met*[J], 1923, 29: 529
- [39] Rode H, Orlicki D, Hlavacek V. *AIChE J*[J], 1995, 41: 1235
- [40] Hu Y H *et al.* *J Phys Chem A*[J], 2003, 107: 9737
- [41] Dinh L N, Cecala C M, Leckey J H *et al.* *J Nucl Mater*[J], 2001, 295: 193
- [42] Shewmon P G. *Diffusion in Solid*[M]. Jenks, OK: J Williams Book Company, 1983
- [43] Thomas J M, Thomas W J. *Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis*[M]. Weinheim: VCH, 1997
- [44] Tippawan Markmaitree, Ruiming Ren *et al.* *J Phys Chem B*[J], 2006, 110: 20 710
- [45] Wang Qiang, Chen Yungui *et al.* *Chinese Science Bulletin*[J], 2008, 53: 1784
- [46] Isobe S, Ichikawa T *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2005(404-406): 439
- [47] Isobe S, Ichikawa T *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007(446-447): 360
- [48] Ichikawa T, Hanada N *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2005 (404-406): 435
- [49] Yao J H, Shang C *et al.* *J Alloys Compd*[J], 2007, 432: 277
- [50] Chen Yong, Wang Ping *et al.* *Int J Hydrogen Energy*[J], 2007, 32: 1262

Effect of Catalysts on the Reaction Kinetics of Metal-N-H Hydrogen Storage System: A Review

Wang Qiang, Chen Yungui, Tao Mingda, Wu Chaoling
(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The development of metal-N-H hydrogen storage system, Li-N-H and Li-Mg-N-H series, is elucidated, especially for their progress in the reaction mechanism and effect of catalysts on reaction kinetics. Subsequently, the most possible reaction mechanism and the reaction limited steps in this mechanism are explored and summed up. Furthermore, we probe into the effects of different catalysts on the reaction steps in these materials, and then we deeply clear up the catalytic interaction between the additives and reaction kinetics. Therefore, this would be a recommendable reference for the research on reaction kinetics in this hydrogen storage system.

Key words: metal-N-H materials; reaction mechanism; limited step; catalyst; reaction kinetics

Biography: Wang Qiang, Candidate for Ph. D., School of Material Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China, Tel: 0086-28-85466916, E-mail: wyscu@yahoo.cn; Corresponding Author: Chen Yungui, Professor Tel: 0086-28-85400153, E-mail: ygchen60@yahoo.com.cn