

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2014.04.005

高阻隔包装材料的研究进展

刘丹

(武汉大学 印刷与包装系, 湖北 武汉 430079)

摘要: 综述了蒸镀阻隔材料及无机物充填共混阻隔材料等无机物增强高阻隔材料、MFC涂布材料及MFC复合材料等可生物降解阻隔材料、多层复合材料以及智能阻隔材料的制备工艺、阻隔性能及其在国内外的研究进展, 并指出今后高阻隔材料的研究应朝着性能最优化、无毒无污染、绿色环保、适应市场需求、智能化等方向发展。

关键词: 包装材料; 阻隔性能; 可生物降解; 多层复合; 智能化

中图分类号: TB484; TB34 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7100(2014)04-0024-07

Research Progress of High-Barrier Packaging Materials

Liu Dan

(School of Printing and Packaging, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: The preparation technology, barrier properties and research progress of high-barrier packaging materials have been concluded covering inorganic strengthened high barrier materials such as vapor deposited barrier materials and inorganic filler blend materials, biodegradable materials such as MFC composite materials, multilayer composite materials and smart barrier materials. The development of high-barrier packaging material researches should be conducted towards the direction of optimal properties, non-toxic, non-pollution, green for environment, market orientation and intelligence.

Key words: packaging materials; barrier property; biodegradable material; multilayer composite material; intelligence

0 引言

目前, 因没有受到良好的防护而腐烂变质的食品数量极多, 因食用过期的食品、药品而导致人们生病、死亡的事故也时有发生, 这些都与包装材料的阻隔防护失效有关。阻隔性能是包装材料必须具备的一种功能, 尤其是食品、药品等对包装材料阻隔性能的要求更高, 这类包装材料需要具有高阻隔性能, 以阻止氧气、水蒸气、微生物、虫害、酸碱腐蚀性溶剂等渗入, 以及防止香味、有机蒸汽等的渗出, 来维持包装内部环境的稳定, 保护内装物, 从

而延长食品、药品等商品的货架期、保质期^[1]。随着科学技术的发展, 以及人们对高质量生活的追求, 消费者对包装的要求也越来越高, 这使对高阻隔包装材料的研究力度得以加强。近年来, 在包装界掀起了一股高阻隔材料的研究潮流, 各种高阻隔材料相继问世, 并得以广泛应用。高阻隔包装材料的应用能减少食品资源浪费, 一定程度上保障消费者的健康与安全。

高阻隔材料的发展可分为4个阶段: 1) 聚合物高阻隔材料。它是目前使用量最大、研究最早的一类高阻隔材料, 通用的有聚偏二氯乙烯、聚乙烯、乙

收稿日期: 2014-04-23

作者简介: 刘丹(1990-), 女, 湖南湘潭人, 武汉大学硕士生, 主要研究方向为功能性包装材料,

E-mail: 804227803@163.com

烯醇共聚物,以及应用于军事、航空的特种工程塑料,如聚醚醚酮、聚砜等,此类聚合物具有优异的阻隔性能,尤其是特种工程塑料^[2],在150℃的高温下还能保持较好的综合性能,制备工艺简单,经济成本较低,但此类聚合物难以降解,对环境会造成一定的污染。2)无机物增强高阻隔材料。其增强方式主要有在聚合物表面沉积氧化硅、氧化铝等氧化物薄膜,在聚合物里添加沸石、硅藻土、蒙脱土等无机物填料,将多种聚合物或无机物分层复合制成多层复合高阻隔材料等。无机物增强高阻隔材料能大幅度提高包装材料的阻隔性能,满足不同产品对阻隔性能的要求,但对于蒸镀薄膜,需要通过化学、物理气相沉积的方法,在基底材料上沉积薄膜,基底材料应能承受一定的温度,这限制了其应用范围。无机物掺入高阻隔材料是将沸石、硅藻土等无机物与聚合物共混,以改性聚合物,提高其阻隔性能。聚合物的选择不受制备方法的限制,使用范围进一步扩大。多层复合高阻隔材料主要通过层合不同的材料来提高其阻隔性能,应用范围更广,且适用于不同形式的包装。3)生物基可降解高阻隔材料。2002年,国家经济贸易委员会发布的《工业行业近期发展导向》中提出“开发高阻隔性容器、包装材料、多功能薄膜、水溶性薄膜和可降解性材料的工艺和设备”^[3],其后,对生物基可降解材料的研究成为重点。同时,新兴纳米技术也在这一阶段应用于高阻隔功能,研究出大量的纳米复合高阻隔材料。4)智能化高阻隔包装材料。这是目前高阻隔材料的一个新的研究方向,将智能化的科学技术应用于阻隔材料,将会给人们的生活带来更多便利。

1 无机物增强高阻隔材料

1.1 蒸镀阻隔材料

蒸镀阻隔材料是在聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)、邻苯基苯酚(o-phenyl phenol, OPP)、流延聚丙烯(cast polypropylene, CPP)等塑料薄膜、片材基体表面,通过物理气相沉积(physical vapor deposition, PVD)或化学气相沉积(chemical vapor deposition, CVD)的方法而沉积的功能性薄膜,这些功能性薄膜对人体无毒无害,且对水蒸气、氧气、气味等气体分子的阻隔能力较强,故能广泛地应用于食品、药品等对阻隔性能要求较高的商品包装上^[4-5]。目前,市场上常见的蒸镀材料主要有氧化硅沉积薄膜、氧化铝沉积薄膜、氧化钛等。

SiO_x沉积薄膜材料具有透明可视、能适用于微

波加热等优点,是研究、应用较多的一种蒸镀阻隔材料。SiO_x沉积薄膜的制备主要是在基材表面,在一定真空度条件下,通过靶材的蒸发熔融,沉积无机物SiO及SiO₂。由于生成的SiO_x薄膜具有致密均匀的薄膜结构,且与基体间存在较强的附着力,从而使整个复合材料表现出较好的阻隔性能^[6]。但是,沉积氧化硅、氧化铝薄膜需要一定的气化温度,在蒸发的过程中,基体材料由于受到过高温度的影响,会发生严重的变形,严重影响薄膜的质量,使材料表面产生厚薄不均、开裂等缺陷,降低了复合材料的阻隔性能,因此,在蒸镀氧化物制备复合高阻隔薄膜材料时,应选择能承受一定温度的基底材料^[7]。通过总结发现,适用于蒸镀方法制备氧化物薄膜的基材主要有:聚丙烯(polypropylene, PP)、PET、聚酰胺(polyamide resin, PA)等。

制备蒸镀阻隔材料的方法主要有物理蒸发镀膜、等离子体辅助化学气相沉积和磁控溅射等方法。采用不同的制备方法,得到的复合材料的阻隔能力也有所差异。

1)物理蒸发镀膜技术需要采用电阻丝加热的方法在基底上沉积,因而会导致整个沉积室的温度偏高,所以这种方法只适用于能承受一定温度的高熔点基底材料。由于受温度的限制,目前这种方法使用范围不广。

2)等离子体辅助化学气相沉积主要利用有机硅化物或硅烷等原料,被等离子体活化,与氧发生反应,在表面沉积氧化硅薄膜,其化学反应式为:SiH₄(g)+O₂(g)=SiO₂(s)+2H₂(g)^[8]。利用此方法制备的蒸镀阻隔材料的阻隔性能要优于物理蒸镀薄膜。孙运金等^[9]采用潘宁放电等离子体增强化学气相沉积方法,在PET基底薄膜表面沉积SiO_x高阻隔复合薄膜,所得薄膜表面平整、均匀、致密,透湿率和透氧率分别为24.5 g/m²/d, 135 mL/m²/d,表现出较好的阻隔性能。张受业等^[10]采用磁增强等离子体化学气相沉积的方法,在PET基底表面制备的高阻隔SiO_x复合薄膜,在同一环境条件下,其氧气透过率的最小值为0.725 mL/m²/d,而原膜PET的透氧率为130 mL/m²/d,二氧化硅致密的表面结构使材料的阻隔性能大幅提高。通过对比两种方法可知:采用磁增强等离子体方法制备的SiO_x蒸镀薄膜比潘宁放电等离子体制备的SiO_x蒸镀薄膜的阻隔性能更优。这些研究还表明, SiO_x复合薄膜的阻隔性能与实验环境、实验参数有着密切的关系,选择合适的原料,具备一定的氧气量、最优的沉积功率大小、合适的真空度,才能制备出具有最优阻隔性能的SiO_x

复合薄膜。

3) 磁控溅射是一种高速、低压的沉积方法, 通过二次溅射在基体表面沉积薄膜。溅射沉积方法适用于薄膜的大面积沉积及多种化合物有机组成的多层薄膜沉积^[11]。林晶等^[12]用磁控溅射的方法, 在 PET 上沉积 Al_2O_3 薄膜, 其最低透氧率约为 $2.04 \text{ mL/m}^2/\text{d}$, 而基底 PET 的透氧率为 $32.04 \text{ mL/m}^2/\text{d}$ 。通过沉积氧化铝薄膜, 能进一步增强 PET 对氧气的阻隔性能, 这是由于氧化铝能覆盖 PET 的空洞、间隙。

1.2 无机物充填、共混阻隔材料

将无机物作为填料添加至聚合物内改性聚合物, 这也是提高聚合物阻隔性能的一种有效方法。能增强阻隔性能的无机物填料种类较多, 有沸石、蒙脱土、黏土、陶瓷粉等。添加无机物的种类不一样, 其阻隔机理也有差别, 如在有机聚合物里添加纳米级的二氧化硅, 由于三维二氧化硅能与不饱和有机物发生反应, 使二氧化硅溶于聚合物, 生成有机聚合物-纳米二氧化硅, 从而提高有机聚合物的阻隔性能和韧性, 使其具有极佳的阻燃性能和对挥发性降解物质的阻隔性能^[13]。Huang 等^[14]研究了在应用于电子产品包装的液晶聚合物 (liquid crystal polymer, LCP) 里添加纳米无机物填料的阻隔原理, 图 1 为单一 LCP 的水分和小分子物质渗透示意图。LCP 分为晶体部分和无定形部分, 水分和其他小分子颗粒通过晶体和非晶部分的分子间隙渗透进入包装内部, 使电子产品受潮而失灵; 如在 LCP 中添加纳米无机填料, 纳米无机粒子填充在 LCP 聚合物的晶体部分和非晶部分的分子间隙, 水分和其他小分子颗粒碰撞到纳米无机粒子后转移, 从而阻止水分渗透, 以保护电子产品, 其阻隔机理如图 2 所示。在聚合物中添加无机物填料, 能改善聚合物的阻隔性能, 如聚乙烯醇 (polyvinyl alcohol, PVA) 在湿度较低时具有优良的阻隔性能, 而在湿度较高的环境中, 其阻隔性能急剧下降。为改善这一缺点, 可在 PVA 聚合物中添加纳米钠基蒙脱土 (montmorillonite, MMT), 采用溶液插层-流延法制成薄膜, 应用于蛋制品的保鲜包装。蒙脱土类复合薄膜具有较强的阻燃能力和对有机溶剂、气体等的阻隔能力。沸石等不仅可以作为填料添加至聚合物, 提高其对水分、气体等的阻隔性能, 还可以作为载体和抗菌剂一起, 阻止微生物等的侵入, 提高聚合物的防毒害能力。钟泽辉等^[15]在牛皮纸里添加载银沸石后, 经测试, 该牛皮纸对大肠杆菌的抑制率达 99.9%, 具有较好的抑菌防霉腐作用, 可以应用于易霉腐食品的包装。同时, 材料对酸碱等腐蚀性物质、灰尘小颗粒物质、有

机油类等的阻隔能力, 也是衡量其综合阻隔性能的重要指标, 尤其是精密仪器仪表等器件的包装。如在造纸的过程中添加氧化铝、PLA 纤维等辅料, 可以制备一种特种工业包装用纸, 其具有非常好的拒油性能和抗污性能, 且透气度仅为 $4.2 \mu\text{m}/(\text{Pa}\cdot\text{s})$ ^[16]。Yang 等^[17]将石墨烯成功应用到包装上, 采用溶液共混法, 制备了乙烯/乙醇共聚物 (ethylene vinyl alcohol copolymer, EVOH)/纳米复合材料, 其中, 热降解石墨烯 (thermally reduced grapheme, TRG) 的氧气透过率为 $8.517 \times 10^{-15} \text{ cm}^3\cdot\text{cm}/(\text{cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$, 是单一 EVOH 薄膜的 0.5%。

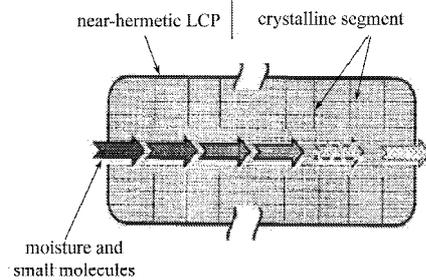


图 1 单一密封 LCP 材料的阻隔机理

Fig. 1 Mechanism for near-hermetic LCP nano-material

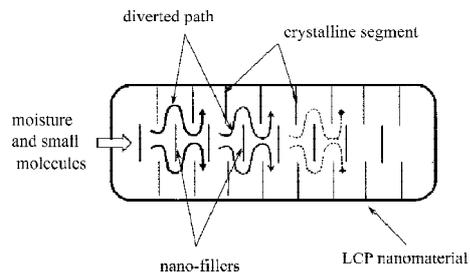


图 2 LCP 纳米复合材料的阻隔机理

Fig. 2 Mechanism for hermetic LCP Material

2 可生物降解阻隔材料

随着新资源、新技术的不断开发, 研究开发新型材料来取代高能消耗材料是非常炙热的一个研究课题, 尤其是对可降解、绿色环保、节能减排包装材料的研究。目前, 对于可降解材料的研究非常多, 若将可降解材料应用于食品、药品等包装上, 须提高其阻隔性能, 制成可生物降解的高阻隔材料。

微纤化纤维素 (microfibrillated cellulose, MFC) 材料是一种生物基可降解、能应用于不同领域的高效能材料, 由大量纤维素、纤维丝聚集而成, 原料来源于绿色环保的木材、甜菜渣、麦秆、大豆皮等。其直径范围为 $20\sim 60 \text{ nm}$, 长度为几微米。微纤化纤维素薄膜材料具有非常好的机械和光学性能, 由于微纤化纤维素本身的阻隔性能不是很好, 导致其在包装上的应用受阻。目前, MFC 主要通过与塑料薄膜材

料复合,制成纳米复合材料,涂布在纸张上,进行表面化学改性等,以提高其阻隔性能^[18]。

2.1 MFC 涂布材料

MFC涂布材料是在聚合物薄膜、纸等基底材料上,通过一定的方法涂布MFC涂层制成的,这是一种较好的制备可降解高阻隔材料的方法,在保留MFC优点的同时,能结合基底聚合物薄膜的优点,达到更好的阻隔效果。水蒸气透过率和氧气透过率是衡量MFC复合薄膜材料阻隔性能最重要的依据。研究发现,MFC复合薄膜的阻隔能力与基底薄膜的参数、原料的化学成分及制备工艺、MFC薄膜的物理结构及其结晶度等均有关。把纸张作为基底材料,在其表面涂布用木材、麦秆等制得的MFC材料,经处理后的纸张的强度和阻隔性能明显增强,其中,氧气透过率为 $17\text{ mL/m}^2/\text{d}$,其优良的气体阻隔性能主要源于材料表面没有空洞及纤维较好的结晶性能,结晶度越高,材料的阻隔性能越优^[19]。Rodionova等^[20]的研究证明,通过对MFC进行表面化学改性,可以提高MFC的阻隔性能,其制备过程如图3所示。MFC薄膜用纯的MFC原料制备,化学改性过程为乙酰化,在乙酰化之前,MFC先在水、丙酮溶剂内进行溶剂交换,化学改性后的薄膜须在 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 的高温下干燥2h,其氧气透过率为 $4.2\text{ mL/m}^2/\text{d}$,是在纸张上涂布的MFC材料的 $1/4$,表现出优越的阻隔性能,可以应用于食品、药品包装。

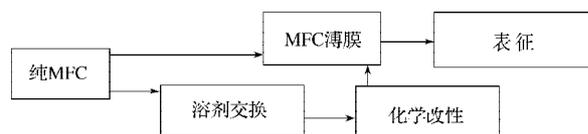


图3 MFC薄膜制备过程

Fig. 3 Experimental scheme of MFC films

2.2 MFC 复合材料

MFC纳米复合材料是指将MFC材料添加到复合材料中制得的新材料。大量研究^[19-20]表明,MFC复合材料具有优良的力学性能和阻隔性能。MFC复合材料含有淀粉胶和聚乳酸,其氧气透过率下降,因而具有较好的氧气阻隔性能。MFC材料与无机化合物复合制成的纳米复合材料同样具有较好的力学性能和阻隔性能,因为无机化合物可以作为一种填料,填补纤维素间的孔洞和间隙,阻止气体通过,提高阻隔性能。此类无机物材料主要有 SiO_2 、 CaCO_3 、氮化硼(boron nitride, BN)等,这些无机物材料都具有较高的分解温度、抗氧化性能和化学稳定性能。Swain等^[21]制备的纤维素/BN纳米复合薄膜,具有绝缘、耐高温等优点,对稀盐酸、稀氢氧化钠等酸碱

物质有一定的阻隔性能,这与添加的BN纳米填料有关,BN纳米填料增多,其对酸碱的阻隔能力增强,且纳米BN粒子分散在纤维素基质中,能够阻挡气体分子的渗透,其最低氧气透过率为 $0.5\text{ Lit/cm}^2/\text{min}$,对氧气有较好的阻隔性能。刘安东等^[22]研制出一种由纳米纤维素(nanofibrillated cellulose, NFC)和黏土制备的纳米复合纸,这种材料强度高,具有优良的阻燃性能和气体阻隔性能,含有的黏土层使该纳米复合纸在有明火的情况下能自熄,延缓纤维素的热降解,提供良好的阻隔性能。Arrieta等^[23]研究了一种能应用于食品包装的三相聚乳酸-羟基丁酸-柠檬烯(poly-lactic acid-polyhydroxy-butyrates-limonene, PLA-PHB-LIM)复合薄膜,由于PHB和LIM能提高PLA的结晶性能,且PHB能增强PLA的物理力学性能,三相复合薄膜具有较好的氧气和水蒸气阻隔性能,氧气渗透率为 $53.9\text{ cm}^3\cdot\text{mm/m}^2/\text{d}$ 。在纤维素材料里添加抑菌的材料,制备抑菌纤维素薄膜,能有效阻止微生物的生长,防止内装物腐坏。如用聚六亚甲基双胍盐酸盐(polyhexamethylenebi-guanidine hydrochloride, PHMB)接枝纤维素包装膜包装新鲜猪肉,经测试:普通纤维素膜包装的猪肉在48h时后能达到二级保鲜要求,72h后腐败变质;而用PHMB纤维素包装膜包装的猪肉,在72h后能达到一级保鲜要求,96h后开始变质^[24]。PHMB具有优越的杀菌作用,提高了纤维素包装薄膜的阻隔能力。

虽然MFC涂布材料和MFC纳米复合材料都表现出很好的氧气阻隔性能,且添加抑菌剂后还具备防腐坏的功能,但是由于MFC薄膜本身的亲水特性,对水蒸气的阻隔性能有待进一步研究。目前,一些研究者正通过将纤维素与阻隔性能优异的聚合物薄膜复合来解决这一缺点。Aulin等^[25]为降低水蒸气透过率,研究出一个新方案:先将纳米纤维素涂布在纸基上,再将醇酸树脂通过水分散涂布的方法,涂布在纤维素基表面,制成多层醇酸树脂/纳米纤维素涂层,而醇酸树脂作为复合材料的高阻隔层,阻隔水蒸气的入侵,在温度为 $23\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度为50%条件下,纳米复合涂层的最低水蒸气渗透率可达 $0.8\text{ g/m}^2/\text{d}$,低能,环保,经济成本低,能应用卷对卷的工艺进行大批量的工业生产。

3 多层复合材料

具有多层结构的复合高阻隔材料,其高阻隔性能是通过各层材料组合而实现的。多层复合材料是目前研究较多、应用范围较广的高阻隔材料,其中大部分多层复合高阻隔包装材料是以目前市场所需

包装为导向设计的,具有较高的实用性。其复合的材料,聚合物一般为聚乙烯(polyethylene, PE)、PET等,而无机物一般为氧化硅、氧化铝等,主要通过干法、湿法的方法复合。

用无机物与聚合物复合制成双层高阻隔材料,来包装极易受环境影响而腐坏或失效的产品,如真空绝热板、有机光伏电池等环境敏感型器件等,是不能延长其保质期的。这就需要通过多层材料的复合,利用各类材料的性能特点,制备不同性能的复合材料,来满足更高的阻隔性能要求。目前,最高复合层数已达11层。同时,多层复合材料也可以改变单一的包装结构,制成盒状、罐状均可,将其用于不同内装物形态的包装,可拓宽多层复合材料的使用范围。酈国强等^[26]发明了一种高阻隔盒体罐的包装材料,其由6种材料、8层结构复合而成,能很好地防止内装物因受潮而变质。赵鹏伟等^[27]开发研究出一种大型高阻隔耐高温的蒸煮袋,应用于果汁包装,由PE/PET/Al/PA 4层结构复合而成,氧气透过率小于 $0.8 \text{ mL/m}^2/\text{d}$,水蒸气透过率小于 $0.5 \text{ g/m}^2/\text{d}$ 。沈阳防锈包装材料有限公司开发研究出一种应用于重型机械、汽车等大型设备的包装材料——气相防锈热收缩布,该材料由3层结构复合而成,内层为具有吸水、防尘功能的木浆水刺无纺布,中间层为具有气相防锈功能的热熔胶层,外层为抗老化、阻隔性能好的高聚物热收缩膜,这种复合材料具有防锈、防冷凝、阻燃等特点,能代替易吸潮、吸油的防锈纸^[28]。

4 智能阻隔材料

近年来,智能包装技术日渐兴起并流行,部分智能化包装技术已经商业化,开始进入人们的生活。智能型包装技术主要有功能材料型、功能结构型和信息功能型^[29]。高阻隔性能作为包装材料不可缺少的一种性能,尤其是对阻隔性能要求比较高的食品包装,如采用智能化技术,优化材料的阻隔性能,则能更好地服务人们的生活。

智能化高阻隔材料也被称为第4代高阻隔材料,不仅能阻止氧气、水蒸气、微生物等的侵入,还具有根据包装内环境的变化而自动调节、自动显示的功能。其自动显示的功能,可以通过指示剂来实现。微生物使食品腐败时,食品发生水解和氧化反应,需要相应的反应酶,因此,可以根据微生物的种类、反应类型、酶的种类、生成物种类等,来选取相应的指示剂加入包装内,如DNA酶指示剂、二氧化碳指示剂、酸碱指示剂、硫化氢指示剂等,一旦食品被微生物侵染,各类指示剂便能作出相应的指示。当

包装内有少量水蒸气透过时,包装材料可以主动吸收水分;有氧气渗透时,可以与包装材料发生反应吸收,并通过氧气指示剂指示包装内的含氧量,以保持食品新鲜。李东立等^[30]研制出一种高阻隔吸氧包装材料,将具有吸氧功能的天然橡胶添加至树脂里,吹塑制成薄膜,这种薄膜具有很强的氧气吸收功能。王作晨等^[31]发明了一种具有形状记忆功能的高阻隔材料,其由聚烯醇等多种材料混合,制成单层或多层的薄膜结构,不仅具有智能化的形状记忆功能,还具有高阻隔性能。鱼类、肉类等含蛋白质比较丰富的食品受到微生物侵染后,蛋白质分解成为含氮酸和脂肪酸等,这些成分呈碱性,可用pH指示剂来辨别是否已受到微生物感染。指示剂变色后,感应器能感应其变化,通过一定的方式传递给作动器,作动器再控制包装材料内抗菌剂等的释放,杀死微生物,防止食品腐坏^[32]。同时,消费者可根据指示剂颜色的变化来辨别食品的新鲜度,而控制抗菌剂释放的作动器可采用电致收缩或磁致收缩材料,电致收缩材料可将食品反应过程中的能量通过能量转换器转换为电能,有电流即已受到微生物侵染,材料舒张,抑菌剂释放,无电流变化时,材料收缩,阻止抗菌剂释放。这样,可结合各种功能性材料及各类生物传感器等,来实现包装的智能化。

5 研究展望

高阻隔材料各有其优缺点。聚合物高阻隔材料的制备工艺成熟,经济成本较低,但是不能降解,回收再利用困难,环保性较差;可微波加热的 SiO_x 沉积薄膜可以代替目前市场上使用较多的镀铝薄膜,其阻隔性能好,透明,废弃后可焚烧,对环境影响较小,但受制备工艺的影响,基底材料选择受到限制;生物基可降解材料的阻隔性能主要通过薄膜、纳米材料和纸张等复合实现,氧气阻隔性能好,可降解,符合环境友好原则,但是由于生物基的亲水性特点,导致其水蒸气阻隔性能不是很理想,有待进一步研究改善;纳米高阻隔材料将纳米材料添加至高分子聚合物里,由于纳米材料优良的表面性能,使复合材料具有很好的阻隔性能,目前在食品、药品包装等领域应用较广,但是纳米材料对人们身体带来的影响有待进一步研究。

与国外相比,我国对高阻隔技术的研究、开发还处于相对较弱的水平,还不能满足国内市场需求。因此,今后应以发展新型高阻隔技术为切入点,大力研究、开发市场所需的高阻隔材料,提高材料的阻隔性能;同时,在能源日益枯竭和人们环保意识

日益增强的社会背景下,未来高阻隔材料的研究朝着性能最优化、无毒无污染、绿色环保、适应市场需求、智能化等方向发展。

参考文献:

- [1] 岳青青. 阻隔性包装材料的应用现状及发展趋势[J]. 塑料包装, 2011, 21(3): 19-21.
Yue Qingqing. The Applied Status and Developmental Trend of Barrier Packaging Materials[J]. Plastics Packaging, 2011, 21(3): 19-21.
- [2] 陈 骁, 赵建青, 袁彦超, 等. 磺聚合物特种工程塑料的合成、性能与应用[J]. 广东化工, 2013, 40(18): 66-67, 49.
Chen Xiao, Zhao Jianqing, Yuan Yanchao, et al. Synthesis, Properties and Applications of Sulfone Polymers[J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40(18): 66-67, 49.
- [3] 胡焱清, 李子繁, 孙红旗. 绿色高阻隔包装材料: 耐水改性聚乙烯醇涂布膜[J]. 塑料包装, 2010, 20(2): 22-23.
Hu Yanqing, Li Zifan, Sun Hongqi. Green and High-Barrier Packaging Materials: The Water Resistance of Modified PVA Coating Film[J]. Plastics Packaging, 2010, 20(2): 22-23.
- [4] 秦 柳, 安 瑛, 刘 勇, 等. 气体阻隔材料制备技术的研究进展[J]. 塑料, 2011, 40(6): 121-125.
Qin Liu, An Ying, Liu Yong, et al. Research Development of Producing Technique of Gas Barrier Materials[J]. Plastics, 2011, 40(6): 121-125.
- [5] Schmidt M, Rodler N, Miesbauer O, et al. Adhesion and Barrier Performance of Novel Barrier Adhesives Used in Multilayered High-Barrier Laminates[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2012, 26(20/21): 2405-2436.
- [6] 李卫娜, 杨云峰, 王标兵, 等. 高分子材料阻隔技术的研究进展[J]. 天津化工, 2008, 22(5): 15-17.
Li Weina, Yang Yunfeng, Wang Biaobing, et al. The Research Progress of Polymer-Barrier's Technology[J]. Tianjin Chemical Industry, 2008, 22(5): 15-17.
- [7] 林 晶, 董文丽, 孙智慧, 等. 新型高阻隔陶瓷薄膜包装材料及技术[J]. 包装工程, 2007, 28(10): 90-93.
Lin Jing, Dong Wenli, Sun Zhihui, et al. Development of New High Barrier Ceramic Thin Film Material and Technologies[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(10): 90-93.
- [8] 王长林. 二氧化硅薄膜沉积技术的主要化学反应与方法[J]. 包头职业技术学院学报, 2008, 9(3): 7-8.
Wang Changlin. Main Chemical Reactions and Methods in Silicon Dioxide Film Deposition Technologies[J]. Journal of Baotou Vocational & Technical College, 2008, 9(3): 7-8.
- [9] 孙运金, 陈 强, 付亚波, 等. 纳米高阻隔 SiO_x 薄膜的等离子体制备[J]. 北京印刷学院学报, 2007, 15(4): 23-25.
Sun Yunjin, Chen Qiang, Fu Yabo, et al. Nano-Silicon Dioxide Film for High Barrier Performance Deposited by PDPs [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2007, 15(4): 23-25.
- [10] 张受业, 王正铎, 陈 强, 等. 磁增强等离子体化学气相沉积法 Roll-to-Roll 制备 SiO_x 高阻材料[C]//第13届全国包装工程学术会议论文集. 武汉: [s.n.], 2010: 315-319.
Zhang Shouye, Wang Zhengduo, Chen Qiang, et al. Preparation of SiO_x Barrier Layer by Magnetized Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition at Roll-to-Roll Process [C]//The 13th National Packaging Engineering Academic Conference Proceedings. Wuhan: [s.n.], 2010: 315-319.
- [11] 谷吉海, 高德, 高翔, 等. 高阻隔透明陶瓷膜蒸镀技术[J]. 包装工程, 2007, 28(11): 27-30.
Gu Jihai, Gao De, Gao Xiang, et al. Evaporation Coating Technique of High Barrier Transparent Ceramic Film[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(11): 27-30.
- [12] 林 晶, 刘 壮, 孙智慧, 等. 负偏压对 PET 上磁控溅射氧化铝薄膜的影响[J]. 真空科学与技术学报, 2009, 29(S1): 91-93.
Lin Jing, Liu Zhuang, Sun Zhihui, et al. Bias Voltages and Growth of Sputtered Al₂O₃ Films on Polyethylene Terephthalate Substrates[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2009, 29(S1): 91-93.
- [13] 贾修伟, 刘治国, 楚红英. 有机聚合物/无机化合物纳米复合阻燃材料研究进展[J]. 中国塑料, 2005, 19(9): 28-34.
Jia Xiuwei, Liu Zhiguo, Chu Hongying. Research Progress in Flame Retardant Organic Polymer/Inorganic Compound Nanocomposites[J]. China Plastics, 2005, 19(9): 28-34.
- [14] Huang Mark, Chu Charles, Lim Freddy. Development of Hermetic LCP for Electronic Device Packages[C]//14th Electronics Packaging Technology Conference. Singapore: IEEE, 2012: 415-419.
- [15] 钟泽辉, 李 婷. 载银沸石的制备及其在牛皮纸上的应用研究[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 49-53, 79.
Zhong Zehui, Li Ting. Research on Preparation of Silver-Loaded Zeolite and Its Application on Kraft Paper[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 49-53, 79.
- [16] 徐 腾. 特种工业包装用纸的生产[J]. 中华纸业, 2006, 27(S1): 18.
Xu Teng. The Production Special Industrial Packaging Paper [J]. China Pulp & Paper Industry, 2006, 27(S1): 18.
- [17] Yang Jia, Bai Ling, Feng Gang, et al. Thermal Reduced Graphene Based Poly(Ethylene Vinyl Alcohol) Nanocomposites: Enhanced Mechanical Properties, Gas Barrier, Water Resistance, and Thermal Stability[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52

- (47) : 16745-16754.
- [18] Lavoine N, Desloges I, Dufresne A, et al. Microfibrillated Cellulose: Its Barrier Properties and Applications in Cellulosic Materials : A Review[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90(2) : 735-764.
- [19] Syverud K, Stenius P. Strength and Barrier Properties of MFC Films[J]. Cellulose, 2009, 16(1) : 75-85.
- [20] Rodionova G, Lenes M, Eriksen \varnothing , et al. Surface Chemical Modification of Microfibrillated Cellulose: Improvement of Barrier Properties for Packaging Applications[J]. Cellulose, 2011, 18(1) : 127-134.
- [21] Swain S K, Dash S, Behera C, et al. Cellulose Nanobiocomposites with Reinforcement of Boron Nitride: Study of Thermal, Oxygen Barrier and Chemical Resistant Properties [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 95(2) : 728-732.
- [22] Liu Andong, Walther A, Ikkala O, et al. Clay Nanopaper with Tough Cellulose Nanofiber Matrix for Fire Retardancy and Gas Barrier Functions[J]. Biomacromolecules, 2011, 12(3) : 633-641.
- [23] Arrieta Marina P, López Juan, Herrmández Alberto, et al. Ternary PLA-PHB-Limonene Blends Intended for Biodegradable Food Packaging Applications[J]. European Polymer Journal, 2014, 50: 255-270.
- [24] 李 杨, 高珊珊, 刘光发, 等. 抑菌纤维素膜包装对鲜猪肉品质的影响研究[J]. 包装工程, 2012, 33(11) : 5-9.
Li Yang, Gao Shanshan, Liu Guangfa, et al. Study on Quality Impact of Fresh Pork Packaged by Antibacterial Cellulose Film[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(11) : 5-9.
- [25] Aulin C, Ström G. Multilayered Alkyd Resin/Nanocellulose Coatings for Use in Renewable Packaging Solutions with a High Level of Moisture Resistance[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52(7) : 2582-2589.
- [26] 郦国强, 韩伟平, 沈志伟, 等. 一种高阻隔罐盒体的食品包装材料: 中国, CN201931660U[P]. 2011-08-17.
Li Guoqiang, Han Weiping, Shen Zhiwei, et al. A High-Barrier Tank of Food Packaging Materials: China, CN201931660U[P]. 2011-08-17.
- [27] 赵鹏伟, 周海平, 蔡 珀, 等. 大型高阻隔耐高温蒸煮液体(果汁)包装袋的开发[J]. 塑料包装, 2013, 23(4) : 9-11, 6.
Zhao Pengwei, Zhou Haiping, Cai Po, et al. High Barrier Large Liquid (Juice) Packing 121 °C Retort Pouch[J]. Plastics Packaging, 2013, 23(4) : 9-11, 6.
- [28] 孙 凯. 大型金属设备的新型包装方式: 气相防锈热收缩防护布[J]. 塑料包装, 2013, 23(6) : 12-15.
Sun Kai. New Packing of Large Metal Equipment: VCI Thermal Shrinkage Protective Cloth[J]. Plastics Packaging, 2013, 23(6) : 12-15.
- [29] 夏 征. 智能包装技术[J]. 包装世界, 2011(2) : 4-6.
Xia Zheng. Smart Packaging Technology[J]. Packaging World, 2011(2) : 4-6.
- [30] 李东立, 刘 强. 第三代高阻隔包装材料: 吸氧功能包装材料研制成功[J]. 科技成果管理与研究, 2013(10) : 91.
Li Dongli, Liu Qiang. The Third Generation of High-Barrier Packaging Materials[J]. Management and Research on Scientific & Technological Achievements, 2013(10) : 91.
- [31] 王作晨, 轩福君, 刘 艺, 等. 一种具有形状记忆功能的高阻隔材料及其研制: 中国, CN101735538A[P]. 2008-04-09.
Wang Zuochen, Xuan Fujun, Liu Yi, et al. A Kind of High-Barrier Material with Shape Memory Function and Its Preparation: China, CN101735538A[P]. 2008-04-09.
- [32] 孙媛媛. 食品新鲜度指示型智能包装的研究与应用[J]. 包装学报, 2012, 4(3) : 16-20.
Sun Yuanyuan. Research and Application of Freshness Indicative Smart Packaging for Food[J]. Packaging Journal, 2012, 4(3) : 16-20.

(责任编辑: 徐海燕)

