

文章编号:1007-2780(2009)03-0404-05

半导体及平板显示制造业中的空气非接触搬运技术

王 涛¹, 杨玉贵², 彭光正¹

(1. 北京理工大学 自动化学院, 北京 100081, E-mail: wangtaobit@bit.edu.cn; 2. 空军 95949 部队, 河北 沧州 061036)

摘 要: 介绍了空气非接触搬运技术的优越性、发展现状及其在半导体器件和平板显示制造业中的应用, 阐述了空气悬浮和吸浮式非接触技术的原理, 讨论了空气非接触搬运技术中存在的 key 问题及解决方案, 分析了该技术的发展前景。

关 键 词: 空气非接触搬运技术; 半导体; 液晶显示面板; 制造装备

中图分类号: TP211⁺.32; TM285 **文献标识码:** A

1 引 言

近年来, 随着硅材料制造技术的提高和芯片集成技术的进步, 硅晶片的大直径化已经成为 IC 产业发展的显著特征和必然趋势。尺寸的增大意味着成本的降低, 但同时也对良品率的控制提出了更高的要求, 因为在硅晶片尺寸增大的同时, 极薄的晶片也变得更易变形和破损。另外, 在液晶面板制造业中, 第 8 代的大型玻璃基板的尺寸已经达到了 2 200 mm×2 400 mm, 尺寸和重量的增加也使基板更加容易破碎, 这也是建设 5 代以上生产线的最大挑战之一。大尺寸玻璃基板和晶片在搬运过程中, 由于大型化所衍生的偏移、应力、振动、碰撞、污染和静电等不良影响随着尺寸的增大而变大, 保持生产率和合格率的同步增长将变得越来越困难^[1,2]。

传统的工件搬运系统有以下几种: (1) 采用滚轮输送, 线性电机驱动承载平台; (2) 以机械或真空吸附方式来夹持工件, 由机器人手臂来实现精密定位与上下料等操作; (3) 在不同工位间平板的输送由托盘或卡匣来存放, 并配合机器人手臂在台架和卡匣之间进行放入和取出操作。在传统搬运技术中, 由于玻璃基板与滚轮、晶片与吸盘进行接触, 玻璃基板和晶片表面不可避免会受到损伤而影响产品品质, 所以发展新型的非接触搬运技术已刻不容缓。

本文对空气非接触搬运技术中存在的问题及解决方案进行了讨论, 分析了该技术的发展前景。

2 空气非接触搬运技术的现状

非接触搬运技术主要有电磁式、超声波式和空气悬浮式等几种方式。其中, 空气悬浮式具有清洁无污染、不发热、不产生磁场和能够高速传输等优点, 是非接触搬运领域的主流技术。

空气非接触式搬运设备上浮的对象主要是玻璃基板、半导体晶片、各种胶片基板、光盘、回路基板等板状制品。空气非接触式输送设备广泛应用在平板显示、半导体、太阳能光伏电池、食品、医药等行业。

现在, 在第 8 代液晶面板生产线中已全面使用了空气悬浮式非接触搬运技术。日本夏普公司正在建设的第 10 代液晶平板生产线也拟采用该项技术。我国目前液晶面板的生产线最高为第 5 代, 仍在采用滚轮式或真空吸附式的搬运系统, 在搬运技术方面已落后于国际先进水平。

从 2006 年起, 中国新建了多家用于半导体芯片制造及太阳能电池芯片制造的多晶硅晶片工厂, 但大部分的晶片搬运仍采用吸盘式抓取, 同样存在废品率高的问题。液晶显示和硅晶片产业在信息产业中有重要的基础性地位, 是在技术和资本双密集型的产业, 也是目前我国正重点发展和扶持的高技术产业, 所以研究和使用的空气式非接触搬运技术对于提高我国的生产技术有重要的意义。

目前, 已有不少国外电子设备制造商开发了非接触式的搬运装置。美国 New Way Precision

公司基于空气静压轴承的基础,利用多孔质材料开发了非接触式大型玻璃基板和硅晶片的搬运装置^[3];日本第一设施工业公司开发了具有识别工件有无的气悬浮式非接触式技术^[4];以色列 Orbotech 开发的气浮式搬运技术可以检测玻璃基板的大小及重量,随时与基板保持一定距离进行搬运。许多世界知名的气动元件厂家也在积极地研制和开发空气非接触式元件和搬运系统^[5]。图 1 和图 2 为世界最大的气动元件制造商——日本 SMC 公司利用空气悬浮和吸浮开发的玻璃基板的非接触搬运系统。

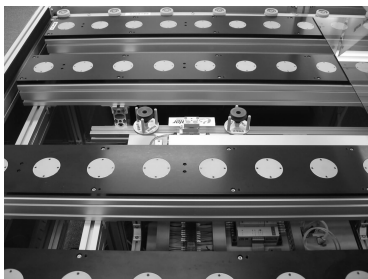


图 1 空气悬浮式玻璃基板搬运系统

Fig. 1 Glass substrate handling system suspended by air



图 2 空气吸浮式玻璃基板搬运系统

Fig. 2 Glass substrate handling system sucked by air

3 空气非接触搬运技术原理及系统构成

3.1 空气悬浮式非接触技术

空气悬浮式非接触技术是应用流体力学的原理,使压缩流体通过压力室上的多孔质体形成一层流体膜,通过工件本身的重量和流体对其施加的压力达到平衡而使工件保持平稳。根据此原理可实现对物体的非接触搬运,并通过和其它装置的结合可以对物体进行各种不同的加工处理。图 3 所示为非接触搬运系统示意图。

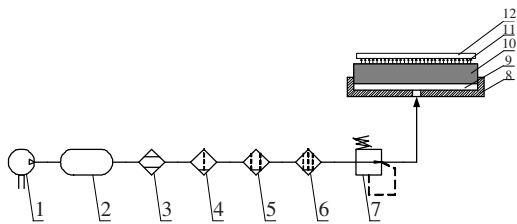


图 3 非接触式搬运系统示意图。1. 空气压缩机;2. 储存罐;3. 空气干燥器;4. 主过滤器;5. 粒子过滤器;6. 微粒子过滤器;7. 精密压力调节器;8. 支架;9. 压力室;10. 多孔质体;11. 空气膜;12. 平板工件。

Fig. 3 Sketch of non-contact air-suspended handling equipment. 1. Air compressor; 2. tank; 3. dryer; 4. Main filter; 5. Micro filter; 6. Supper micro filter; 7. Precision regulator; 8. Housing; 9. Pre-ssure room; 10. prorous body 11. Air film; 12. Flat workpiece.

经过层层过滤后的压缩空气进入压力室 9 并充满,压缩空气通过多孔质体 10 到达表面。空气通过多孔物体内部的无方向性细孔时流速降低,同时得到了充分的扩散,在多孔质体表面上形成了一层均匀的正压流层——空气膜 11,这层空气膜支撑着平板工件 12,使之上浮。通过调节空气的压力以及平板与多孔质体表面的间隙,平板工件的自重与空气作用在平板下表面的流体压力能够达到自平衡。采用多孔质体陶瓷等材料与采取加工的喷嘴材料相比,可在大幅降低气体流量的同时仍能获得均匀分布的浮力的气体膜。空气悬浮式非接触技术有以下特点^[6]:

- (1)多孔质体表面的气体喷出速度在 0.2 m/s 以下,不会扰乱洁净室的环境(同一方向流);
- (2)气体喷出速度较慢,不会对对象物产生静电;
- (3)通过多孔质体的气体经过除尘,洁净度可达到 0.1 μm ,不会影响洁净室的环境;
- (4)支持面积较大,因此上浮对象物稳定,而且可以缓和集中应力;
- (5)所采用的高温烧结的陶瓷体在大气中不会氧化;
- (6)机械强度高,不会因供给流体的压力不同而发生变形,因而装置可实现薄形化;
- (7)通过改变骨材粒子尺寸和成型条件,多孔质体的气孔径可以调整;
- (8)由于是非接触式输送,所以彻底防止了玻

璃及基板等在运送中出现的搬运痕和损伤；

(9)非接触式纵型输送设备,可减少安装的占地面积,减轻基板的弯曲度,免除了安装基板中心支撑滑轮的必要,从而避免划痕的产生。

3.2 空气吸浮式非接触技术

空气吸浮式非接触技术是压缩空气经过吸浮机构产生真空并通过吸浮机构与下方平板工件之间的缝隙排出,对下方平板工件产生向上的吸浮力,真空吸浮力与工件的自重达到平衡实现非接触的向上吸浮。产生真空的方式有两种^[7,8],其一如图 4 所示,压缩空气通过小孔或狭缝向平板工件喷射,高速空气流从吸浮机构和平板工件之间的间隙中向外排出,通过在小孔或狭缝间发生的贝努利效应产生负压从而吸浮起工件;其二如图 5 所示,利用旋回流所产生的负压将下方工件吸浮,而旋回流的空气由于排向大气,工件和吸浮机构之间保持微小的缝隙从而实现非接触的吸浮。

空气吸浮非接触技术机构简单、容易加工,有利于制造装备成本的降低。由于其尺寸相对较小,在吸浮大型平板工件时,一般要配置多个吸浮机构。

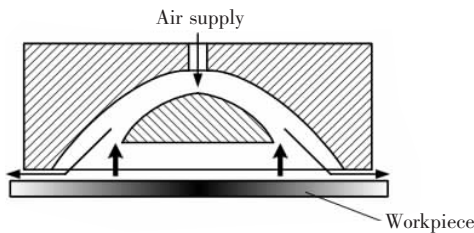


图 4 基于贝努利效应的吸浮机构

Fig. 4 Suck system based on Bernoulli effect

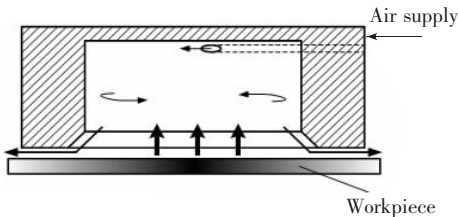


图 5 利用旋回流的吸浮机构

Fig. 5 Suck system using swirling flow

4 空气非接触搬运技术的关键问题及解决方案

4.1 空气悬浮或吸浮机构

在空气非接触式搬运设备中,最关键的部件是使工件悬浮或吸浮的机构。气悬浮技术自 20

世纪 50 年代开始研究和应用,最初是作为静压轴承的偶件^[9],在精密加工中对旋转的工件起支承作用。压缩空气是从若干个喷嘴中射出来支承工件,对于易变形和脆弱的大型工件,由于工件表面所受喷射力的不均匀,易造成对工件的损伤,传统的气体静压技术不能满足大型薄板类工件的悬浮和搬运要求。为克服这一问题,现在多采用具有微小通道的多孔质材料作为空气喷射的器件,实现空气均匀射出到工件表面产生均匀支撑力的目的。另外,传统的基于伯努利效应的非接触吸浮器喷出的气流为放射状,吸力均匀,但存在空气消耗量大、效率低和噪音高的缺点;旋风方式的真空发生吸浮装置虽然具有空气消耗量小的优点,但存在吸力小、吸浮不稳定区域,被抓工件会发生旋转(喷流引发旋转)问题。

图 6 为采用陶瓷类的多孔质材料,实现压缩空气多孔质体喷出时将板状工件均匀浮起的悬浮机构。选用高温烧结陶瓷,内部气孔均一,整体板式制作,喷出气体的洁净度在 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,等级 10 以下,从而达到环保及静音的要求。为不影响洁净室内的环境以及避免工件表面静电的产生,从多孔质材料表面喷出的气体速度控制在 0.2 m/s 以下。另外为避免多孔质体在大气中氧化及抑制多孔质体内部的发生尘,通过材料粒子大小、成型条件的改变来调整多孔质体的气孔径及气孔率。

图 7 为新型空气喷射式真空发生非接触吸浮把持器结构。在中间部分,通过气体的旋回流,基

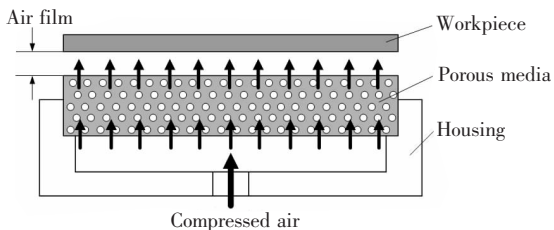


图 6 利用多孔质体空气悬浮系统

Fig. 6 Air-suspended system with porous media

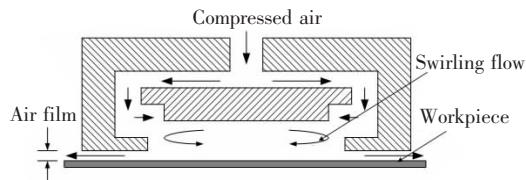


图 7 利用伯努利效应和离心效应的真空吸浮系统

Fig. 7 Vacuum system with Bernoulli effect and centrifugal effect

于离心效应产生负压;在四周,通过气体经过缓冲腔后从狭缝高速射出产生负压。由于减少了高速气流产生的摩擦损失,提高了真空度并减少了由于旋回所造成的工件旋转。

4.2 非接触式精密搬运系统的间隙控制

由于空气的压缩性,空气喷射非接触式搬运系统存在衰减性小、刚性差的缺点,搬运过程中易受工件重量变化及外部干扰的影响,连续长距离的支承和精密搬运变得很困难。另外,为保持非接触空间的空气膜,要求常排气,空气的消耗量很大。因此,低空气消耗量、高承载能力、具有良好控制性的非接触式精密搬运系统是当前研究开发的热点。

通过解析气体在多孔质材料内部、多孔质体表面与工件之间的流动状况及各物理量的关系,构建适用多孔质流动的物理模型和解决方案是建立具有变负载、变动压支承空气非接触式搬运系统理论设计基础的关键。针对高响应的要求,构建气悬浮精密间隙的主动控制系统和具有较强鲁棒性的抗干扰控制算法是实现精密间隙控制的关键。

研究空气喷射时伯努利效应和离心效应产生真空的机理,确立流动状况及结构参数对真空产生的影响,建立真空度、喷嘴形状、气体流量的关系,明确正负压转换范围及确定稳定工作点,是真空吸浮系统开发设计所要解决的课题。利用模型

建立带有变负载、变供给压力的空气动压吸浮控制系统是精密间隙控制的关键。进一步通过仿真和实验优化真空发生结构的设计,可以降低空气消耗量。

非接触搬运装置的制造商在开发高性能的装置时,一般是根据经验来确定设计方案和运行条件,没有进行基础性的流体解析,而且缺少理论性和体系性的数据库。目前,更加精密的非接触间隙控制和较少的空气消耗量还不能实现,在一定程度上限制了液晶玻璃基板和硅晶片生产的大型化和高效化。因此在气体非接触式搬运技术中对空气喷射式非接触器件的构造、气体流动的状态、位置控制算法的研究提出了更高的要求。根据压缩性流体特点在理论上解决在提高吸力的同时减少空气消耗量的问题,研制开发新型的吸浮把持器是下一代非接触式空气吸浮机构的发展方向。

5 空气非接触搬运技术的发展前景

在半导体及液晶面板生产的搬运技术方面,非接触式输送设备的运用可以降低成本、提高成品率、实现高效节能。根据国家在高新产业的指导性政策,随着大型硅晶片和液晶面板等生产技术的发展以及高端生产线的不断建设,使用快速、稳定、低能耗的气悬浮或气吸浮式非接触式搬运系统将成为未来的主流,空气非接触式搬运技术有着光明的市场前景。

参 考 文 献:

- [1] 罗清岳. 非接触性大型玻璃基板搬运技术 [J]. 国际光电与显示, 2007, (6): 61-63.
- [2] Kasuya Yosuke. The latest trends of semiconductor/FPD material handling system; daiichi institution Industry; Air-surfacing non-contact panel handling system [J]. *Semicond. FPD World*, 2006, 25(9): 68-69 (in Japanese).
- [3] New Way Bearings Company. New Way Precision, Air Bearing Application Guide [R]. Aston, USA; New Way Bearing Company, 2003.
- [4] 第一施設設公業. LCD工場, 半導體工場対応する基板サイズが大きくなるほど優位性が際立つ新型搬送技術 [EB/OL]. (株)テクノアソシエーツ. [2008-10-08]. <http://openlab-air.jp/articles/magicmove20060517.html>.
- [5] 崎野茂夫. 基礎研究をいかに実用製品に結び付けたか [J]. *Machine Design & Tribology*, 2002, (21): 2.
- [6] 门连通, 白淑璠. 非接触式搬运设备在液晶物流中的应用 [J]. *物流技术*, 2006, (5): 27-29.
- [7] Solar Research Laboratory Ltd. Bernoulli chuck for micro wafer chip [EB/OL]. [2008-10-08]. http://www.solarlab.co.jp/tipeng/tipeng_001.htm.
- [8] Li Xin, Kawashima Kenji, Kagawa Toshiharu. Modeling of non-contact handling device by using air swirling flow [C]// *Proceeding of 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation*, Ljubljana, Slovenia: Slovejan Society for Modelling and Simulation SLOSIM and Ljubljana Faculty of Electrical Engineering, 2007.
- [9] 孙雅洲, 卢泽生, 饶河清. 基于 FLUNENT 软件的多孔质静压轴承静态特性的仿真与实验研究 [J]. *机床与液压*,

2007,35(3);170-172.

Application of Non-Contact Air-Suspended Movement Technology
in Semiconductor and FPD Production Industry

WANG Tao¹, YANG Yu-gui², PENG Guang-zheng¹

(1. School of Automation, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China, E-mail: wangtaobit@bit.edu.cn;
2. Air Force 95949 Unit, Cangzhou 061036, China)

Abstract

The connotation and the application in the semiconductor and FPD production industry of non-contact air-suspended movement technology were introduced. The non-contact air-suspended movement technology principles including air float and suck float were explained. The important questions in the non-contact air-suspended movement technology and the solutions were discussed. The development foreground of the non-contact air-suspended movement technology was analyzed.

Key words: non-contact air-suspended movement; semiconductor; FPD; manufacture equipment

作者简介:王涛(1971—),男,内蒙古包头人,博士,讲师,研究领域为检测技术及自动化装置。

常见的废弃单位及换算因数

单位名称	符 号	换算因子
英寸	in	1 in=2.54 cm
托	Torr	1 Torr=133.322 Pa
毫米汞柱	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
毫米水柱	mmH ₂ O	1 mmH ₂ O=9.80665 Pa
西西	cc	1 cc=1 mL
熙提	sb	1 sb=10 ⁴ cd/m ²
尼特	nt	1 nt=1 cd/m ²
屈光度	D	1 D=1 m ⁻¹
体积克分子浓度	M	1 M=1 mol/L
标准大气压	atm	1 atm=101.325 kPa