

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 19920061151838

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

静电喷印头的设计及关键工艺

Design and Critical Process of Electrostatic Ink-Jet Head

陈 栋 杭

指导教师姓名: 席文明 副教授

孙道恒 教授

专业名称: 机械电子工程

论文提交日期: 2009年5月

论文答辩时间: 2009年6月

学位授予日期: 2009年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2009年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（）课题（组）的研究成果，获得（）课题（组）经费或实验室的资助，在（）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

喷墨打印设备具有制造成本低、制造过程简单、便于操作等优点，其应用范围从传统的办公室、家庭打印延伸到电子制造、生物工程分析、陶瓷器件制备等众多领域。但现有主流的压电式和热气泡式喷墨打印在结构和控制上都存在着难以克服的问题。为此，本文结合传统静电喷印头的特点，设计了一种新型的静电喷印头，克服了现有打印方式所存在的缺陷，拓宽其应用领域。

论文在对静电喷印原理的了解和分析的基础上，通过对结构单元的理论 and 有限元分析，以及整体结构的动态仿真，最终得到了优化的静电喷印头结构。具体研究工作主要包括以下五个部分：

- 在查阅和分析大量相关文献资料的基础上，提出了硅（上硅层）—硅（振动层）—玻璃三层结构的静电喷印头整体结构方案，其中进液管道布置在上硅层，振动膜片、液腔、喷嘴设计在振动层，固定电极布置在玻璃基底上；
- 通过理论分析并结合 ANSYS 静电与结构耦合仿真，对影响静电喷印头中振动膜变形量大小的各个参数进行研究，在此基础上确定了长 $6000\mu\text{m}$ ，宽 $380\mu\text{m}$ ，厚 $5\mu\text{m}$ ，极板间距为 $1\mu\text{m}$ ，工作电压为 38V 的振动膜片特征参数；
- 针对打印中普遍存在的墨水回流现象，从考察进液管效率的角度，运用理论和有限元仿真工具对影响扩散/收缩管效率的参数进行了系统的研究，并最终确定了管长 $300\mu\text{m}$ ，锥角 11° ，最小截面宽度 $30\mu\text{m}$ ，管深 $30\mu\text{m}$ 的进液管道结构；
- 基于韦伯数介于 1 到 12 时，液体破裂属于振动破碎，可用于喷墨打印这一理论基础，通过 ANSYS 有限元软件，对打印过程中结构变形对腔内液体的作用进行流固耦合仿真，得到了振动膜片变形时管嘴与进液端的液体流速情况，并计算得出韦伯数为 8.5，验证了该静电喷印头结构的可行性；
- 结合静电喷印头的结构特点，设计了静电喷印头的制作工艺流程，并对静电喷印头的关键结构—振动层的制作工艺流程及相关工艺参数进行了针对性地研究，最终制作出了厚度为 $2.5\mu\text{m}$ 的硼硅振动膜。

关键词：静电喷印头；流固耦合；韦伯数

Abstract

Ink-jet printer is now popularly used in the ink-jet recording systems with low cost, simple production and easy operation, which can be used for printers, facsimiles, electronic manufacturing, bio-engineering and bio-analysis, ceramic device and so on. The main mechanisms of ejecting ink drops are categorized in two groups: the piezoelectric ink-jet printing and the thermal bubble ink-jet printing. Both of the conventional ink-jet printers have their own drawbacks with structure and operation that can't be overcome. So in this dissertation, a novel electrostatic ink-jet head is brought forward to expand its applications, which can overcome such shortcomings.

The main work in this paper are: based on the mechanism of electrostatic ink-jet head, an optimized electrostatic ink-jet head structure is achieved via theoretical analysis and finite element simulation of the ink-jet head. This paper includes five aspects listed as follows:

- Bring forward a novel electrostatic ink-jet head based on related document and analysis of current situation of the ink-jet head. The electrostatic ink-jet head is composed of a three-layer structure: Si(upper Si substrate)—Si(oscillation plate)—Glass(lower substrate). The charging channel is located in the upper Si substrate; the diaphragm, ink cavity and nozzle are arranged in the oscillation plate, as well as the immovable electrode is positioned in the glass.
- Obtain an appropriate diaphragm by theoretical calculation and simulation in ANSYS in coupled field. The diaphragm has a rectangular shape with 6000 μm length, 380 μm width, 5 μm thickness, 1 μm the distance between the diaphragm and the immovable electrode and 38V the applied voltage.
- Optimize the charging channel by analysis and finite element simulation of the channel structure to reduce the reflux of the ink during the printing. The length, angle, neck width, depth of the charging channel are 300 μm , 11°, 30 μm and 30 μm , respectively.
- Analyse the Fluid-Solid-Interaction(FSI) during the ink printing, study the threshold of drop jetting out of the nozzle. When the Weber Number is between 1 and 12, the drop can break away from the liquid. Carry out the FSI simulation in ANSYS to get the fluid velocity in the nozzle, and obtain the result that the

Weber Number is 8.5. It is between 1 and 12 which represents the feasibility of the head designed.

- Design the process flow of the overall electrostatic ink-jet head, study the technological process of the oscillation plate, which will lay a foundation for fabricating the ink-jet head by the preliminary fabrication of 2.5 μm thickness diaphragm.

Keywords: Electrostatic Ink-Jet head; Fluid-Solid-Interaction; Weber Number

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要.....	I
目 录.....	IV
第一章 前 言	1
1.1 喷墨打印的应用	1
1.1.1 喷墨打印在生物工程和生物分析的应用.....	1
1.1.2 喷墨打印在电子制造业的应用.....	2
1.1.3 喷墨打印在功能陶瓷中的应用.....	2
1.1.4 喷墨打印在其它方面的应用.....	3
1.2 喷墨打印的现状和存在的问题	4
1.2.1 压电式喷墨打印.....	4
1.2.2 热气泡式喷墨打印.....	6
1.2.3 超声式喷墨打印.....	7
1.2.4 静电式喷墨打印.....	8
1.3 本研究课题提出的背景	11
1.4 本文研究目标以及主要工作	13
1.4.1 研究目标.....	13
1.4.2 研究内容.....	13
第二章 静电喷印头的设计与理论分析	14
2.1 静电喷印头的整体结构及其工作原理	14
2.2 静电驱动原理及其吸合特性分析	15
2.2.1 平行板电容静电力计算.....	15
2.2.2 静电吸合特性分析.....	17
2.3 静电驱动矩形薄膜变形分析	20
2.4 扩散/收缩管工作原理及其效率分析	22
2.5 本章小结	25
第三章 静电喷印头的有限元仿真	26
3.1 有限元分析方法和 ANSYS 软件简介	26
3.2 振动膜片的有限元仿真	27
3.2.1 膜片的变形仿真.....	27

3.2.2 膜片的模态分析.....	32
3.3 进液管道的有限元仿真	34
3.3.1 锥角对流速和效率的影响.....	35
3.3.2 最小截面对流速和效率的影响.....	37
3.3.3 长度对流速和效率的影响.....	38
3.3.4 压强等其它参数对流速和效率的影响.....	39
3.4 静电喷印头整体结构仿真分析	40
3.4.1 静电喷印头整体结构的流固耦合仿真.....	41
3.4.2 液腔深度对韦伯数的影响.....	43
3.5 本章小结	44
第四章 静电喷印头制作工艺的初步探索	45
4.1 静电喷印头整体制作工艺的设计	45
4.2 振动层制作工艺的初步探索	46
4.3 本章小结	59
第五章 总结与展望	60
5.1 总结	60
5.2 下一步工作	61
参考文献	62
致 谢.....	66
攻读硕士学位期间取得的科研成果	67

Contents

Abstract.....	I
Contents	IV
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 The Applications of Ink-Jet printing.....	1
1.1.1 Application on Bio-engineerng and Bio-analysis	1
1.1.2 Application on electronic manufacturing industry.....	2
1.1.3 Application on functional ceramics	2
1.1.4 Application on other aspects	3
1.2 Current situation and problems of Ink-Jet Printing	4
1.2.1 Piezoelectric Ink-Jet Printing.....	4
1.2.2 Thermal Bubble Ink-Jet Printing	6
1.2.3 Acoustic Ink-Jet Printing	7
1.2.4 Electrostatic Ink-Jet printing.....	8
1.3 Background of the Research	11
1.4 Target and Works.....	13
1.4.1 Target	13
1.4.2 Works	13
Chapter 2 Design and Analysis of Electrostatic Ink-Jet Head	14
2.1 Structure of Electrostatic Ink-Jet Head and Principle of Operation	14
2.2 Analysis of Electrostatic Force and Pull-in Effect	15
2.2.1 Electrostatic Force Calculation of Parallel-plate Actuator	15
2.2.2 Analysis of Pull-in Effect	17
2.3 Deflection of Rectangular Diaphragm Driven by Electrostatic Force	20
2.4 Principle and Efficiency Analysis of Diffuser/Nozzle Element	22
2.5 Summary	25
Chapter 3 Finite Element Simulation of Electrostatic Ink-Jet Head.	26
3.1 Introduction of Finite Element Method and ANSYS Software	26
3.2 Finite Element Simulation of Diaphragm.....	27
3.2.1 Simulation of Diaphragm Deflection.....	27

3.2.2 Mode Analysis of Diaphragm	32
3.3 Finite Element Simulation of Charging Channel.....	34
3.3.1 Influence of Angle on Flow and Efficiency	35
3.3.2 Influence of Neck Width on Flow and Efficiency	37
3.3.3 Influence of Length on Flow and Efficiency	38
3.3.4 Influence of Pressure and Other Parameters on Flow and Efficiency	39
3.4 Simulation of Overall Structure	40
3.4.1 Fluid-Solid Interface Simulation.....	41
3.4.2 Influence of Cavity Depth on Weber Number	43
3.5 Summary	44
Chapter 4 Preliminary Study of Electrostatic Ink-Jet Head	
Fabrication Process.....	45
4.1 Electrostatic Ink-Jet Head Process Flow	45
4.2 Process of Oscillation Plate	46
4.3 Summary	59
Chapter 5 Conclusions and Future Works	60
5.1 Conclusions.....	60
5.2 Future Works	61
References	62
Acknowledgements	66
Publications	67

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 前言

1.1 喷墨打印的应用

喷墨打印技术是一种非接触式的打印技术，在计算机的控制下，将连续、微小的液滴快速的打印到基质上。近些年来，由于喷墨打印设备具有制造成本低，制造过程简单、便于操作等优点，其应用范围得到了很大程度的拓展，如喷墨打印方法可用于制备有机和无机晶体管^[1]、陶瓷器件^[2]、药物输送^[3]、高分子薄膜^[4]、生物工程和生物分析^[5]等众多方面。

1.1.1 喷墨打印在生物工程和生物分析的应用

用喷墨打印技术制备DNA芯片是喷墨打印在生物领域的一个新的应用。传统的照相平版印刷DNA合成方法^[6]虽然能制备高密度的DNA阵列，但这种方法成本较高，需要花费较长的时间，而且制造出来的DNA阵列存在着变异性和不稳定性。因此，Yamamoto的研究小组研究了用热气泡喷墨打印方式来制备DNA阵列^[7]。用这种方法不但能够降低芯片制造成本，而且芯片上DNA阵列的分布具有更好的均匀性，提高了芯片上DNA阵列的密度，使得在单一芯片上就能研究整个基因组，图1-1为两种制备DNA芯片方法的对比图。

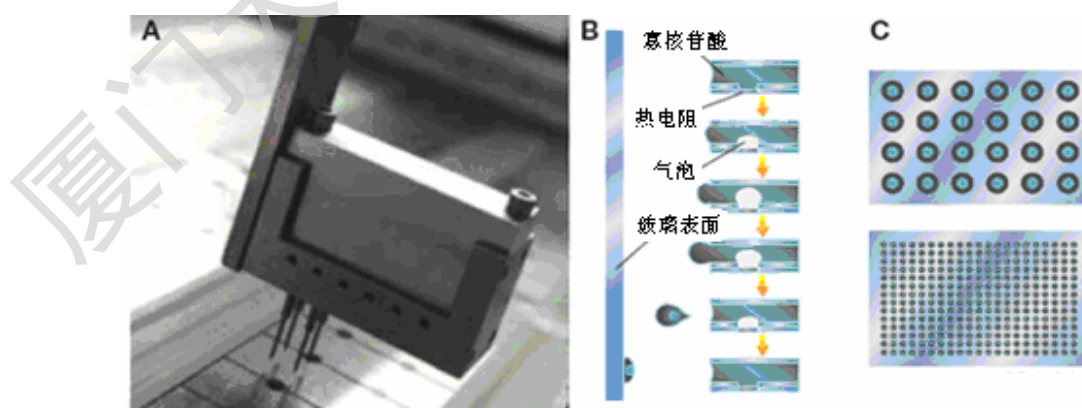


图 1-1 两种制备 DNA 芯片方法示意图。A 探针点样装配 B 喷墨打印方式
C 两种方法制备的 cDNA 阵列密度对比（上图为探针，下图是喷墨打印）

此外，Goldman 利用 HP 喷墨打印机将 DNA 直接打印到杂交膜上^[8]。从他

的实验结果来看，利用喷墨打印方法能够实现 DNA 溶液在二维层面上的排布，而且提高喷墨打印机的分辨率对于分析复杂基因是非常有利的。

1.1.2 喷墨打印在电子制造业的应用

喷墨打印技术在电子产业领域的一个重要应用是制备有机和无机的二极管、聚合物发光二极管、薄膜晶体管等。2000年，剑桥大学的研究人员^[1]采用在阶梯面上打印液滴的方法得到了符合晶体管要求的微细线路。Jayesh Bharathan和 Yang Yang^[9]则研究了用喷墨打印方法制造高分子电致发光器件。采用这种方法，不仅可以实现微米级分辨率的图案，而且对基底缺陷不敏感，只有2%的材料损失。在制造过程中，还可以通过改变指定位置打印点的密度来改变发光器件的亮度，如图1-2所示。

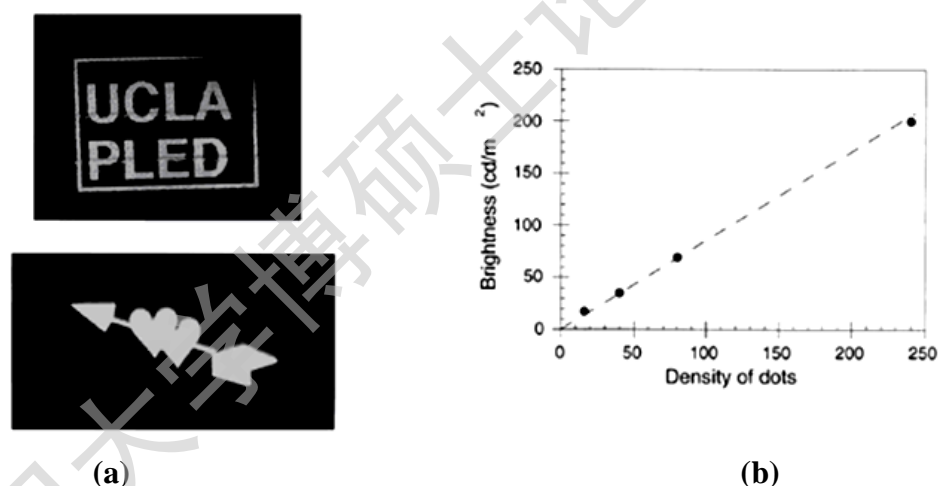


图 1-2 (a) 喷墨打印制作的聚合物发光标识图 (b) 亮度与点密度的关系曲线

此外，喷墨打印技术还可以用于打印电路。Tzung-Fang Guo 等人^[10]利用喷墨打印技术和非电镀金属沉积技术来制造集成电路。

1.1.3 喷墨打印在功能陶瓷中的应用

陶瓷喷墨打印成型技术^[11]是一种把计算机辅助制造(CAM)应用于陶瓷成型中的新技术，它是在计算机控制下多层打印，逐层叠加制造出三维陶瓷坯体。

陶瓷的喷墨打印技术首先由Brunel大学的CE Slade等人开展的^[2]，他们在办

公打印机(Hewlett Packard Deskjet500)的基础上,采用氧化锆和分散剂聚丁基乙烯的混合溶液作为打印液,在计算机控制下将液滴打印到指定的空间位置,完成陶瓷成形,如图1-3所示。此外, Mott等人也用喷墨打印方法制造出了1200层带有方洞和悬臂的坯体^[12],在1999年他们又用同种方法制造出了1200层的 ZrO_2/Al_2O_3 梯度陶瓷^[13]。

另外,丁湘小组^[14]用EPSON C20热气泡喷墨打印机将钛酸钡($BaTiO_3$)粒子打印成一层薄膜,采用特制“墨水”(钛酸钡溶液),通过调整打印机和图像的分辨率,得到了较高质量的钛酸钡薄膜,如图1-4所示。此外,陶瓷喷墨打印成型技术还能应用于结构^[15]或压电^[16]有序陶瓷复合材料的制备等。

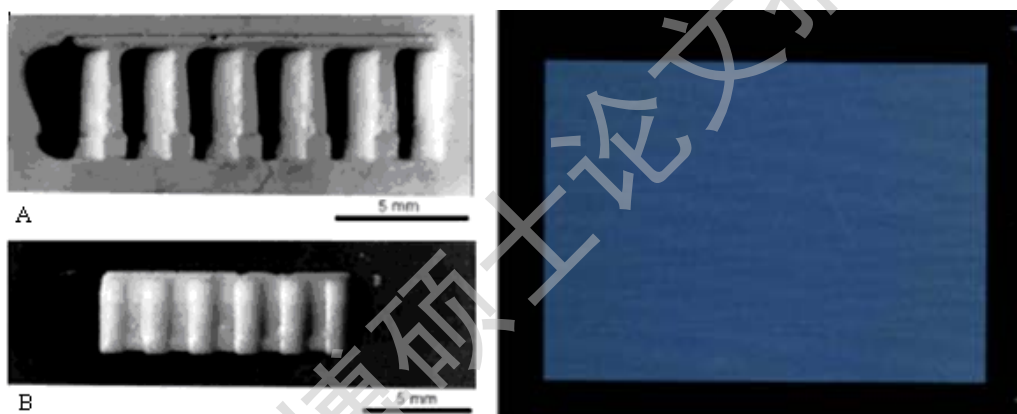


图 1-3 用喷墨打印制造的氧化锆图版 图 1-4 用喷墨打印制造的钛酸钡薄膜
A打印出来时 B烧结以后

1.1.4 喷墨打印在其它方面的应用

除了上述的几种应用外,喷墨打印技术还可用于其它领域。如可用喷墨打印实现有机纳米颗粒的图像化, Shlomo Magdassi 等人^[17]利用压电喷墨打印方法,通过打印水包油微乳化液来制得所需要的图形。其中,有机官能分子转化为纳米颗粒,分解在用水包油微乳化液打印出来的液滴中。当液滴被打印到基底表面上时(如玻璃,陶瓷等),其中的液体成分迅速蒸发,最后只留下图形化的、以纳米颗粒形式存在的有机官能分子。喷墨打印技术还可以制备出高质量的高分子薄膜, Emine Tekin 等人^[18]利用喷墨打印方法,快速、方便地制备出多种高分子薄膜。他们还提出了在打印高分子薄膜的过程中,可以通过对混合溶剂的配比、打

印头运行速率等打印参数的优化，制备出均匀的聚合物薄膜，如图 1-5 所示。此外，喷墨打印还能用于薄膜电极制造，点胶机等其它领域^[19]，如图 1-6 所示。

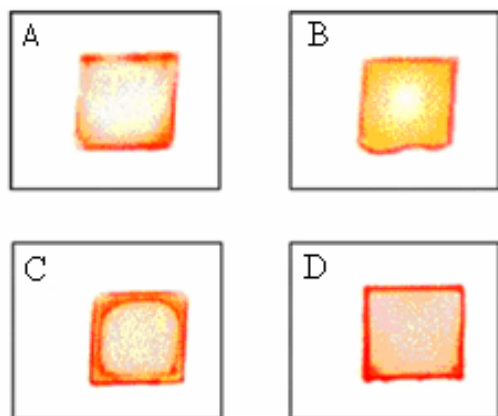


图 1-5 喷墨打印的不同材料的高分子薄膜
(A 甲苯 B 乙酸乙酯 C 苯甲醛 D 醋酸丁酯)

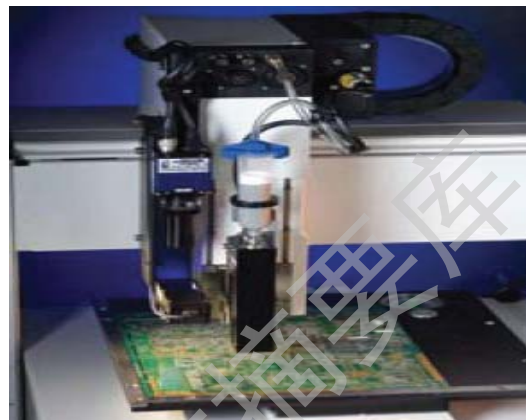


图 1-6 喷墨打印应用于点胶机

1.2 喷墨打印的现状和存在的问题

按照喷墨打印的驱动方式，喷墨打印可分为压电式、热气泡式、超声式和静电式等几类。

1.2.1 压电式喷墨打印

压电式喷墨打印是根据逆压电效应原理，利用压电陶瓷在电压作用下产生形变，进而改变液腔压强，将液体从喷嘴高速喷射出。根据压电陶瓷的不同变形模式，常用的压电喷墨打印主要有三种：挤压型(Squeeze model)、厚度弯曲型(Bend mode)、长度伸缩型(Push mode)^[20]。在挤压型压电喷印中，压电陶瓷沿着径向极化；在厚度弯曲和长度伸缩型压电喷印中，施加电场方向与压电陶瓷极化方向平行^[21-23]。

图 1-7 为厚度弯曲型压电喷墨打印的原理示意图，它由压电陶瓷、振动膜、墨腔等几部分构成。墨腔一端为进液口，另一端为喷嘴。振动膜为墨腔的一个侧壁，压电陶瓷粘连在振动膜上。压电陶瓷的外表面覆盖有导电涂层（上电极），振动膜片上覆盖着下电极。当在上、下电极施加电压时，压电陶瓷发生形变，引

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库