

学校编号: 10384

分类号: \_\_\_\_\_ 密级: \_\_\_\_\_

学 号: 200225047

U D C: \_\_\_\_\_

厦门大学理学硕士学位论文

聚苯胺纳米线和纳米点的制备  
及其性能表征

Preparation and Characterization of Polyaniline Nanowires  
and Nanodots

蔡成东

指导教师 林仲华 教授 周剑章 博士  
厦 门 大 学 化 学 系

|         |        |         |        |
|---------|--------|---------|--------|
| 申请学位级别  | 硕 士    | 专 业 名 称 | 物理化学   |
| 论文提交日期  | 2005.6 | 论文答辩日期  | 2005.6 |
| 学位授予单位  | 厦门大学   |         |        |
| 答辩委员会主席 | 吴辉煌    | 教 授     |        |
| 论文评阅人   |        |         |        |

2005年6月

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

2005 年 5 月 20 日

# 目录

## 聚苯胺纳米线和纳米点的制备及其性能表征

---

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 中文摘要.....                       | I         |
| 英文摘要.....                       | III       |
| <b>第一章 绪论</b> .....             | <b>1</b>  |
| § 1-1 纳米材料简介.....               | 1         |
| § 1-2 纳米材料的初步应用.....            | 7         |
| § 1-3 模板法合成导电聚合物进展.....         | 11        |
| § 1-4 本论文的设想与目的.....            | 15        |
| 参考文献.....                       | 17        |
| <b>第二章 实验</b> .....             | <b>21</b> |
| § 2-1 试剂.....                   | 21        |
| § 2-2 电极.....                   | 22        |
| § 2-3 实验条件.....                 | 22        |
| § 2-4 实验仪器.....                 | 23        |
| <b>第三章 阳极氧化铝模板的制备和表征</b> .....  | <b>26</b> |
| § 3-1 前言.....                   | 27        |
| § 3-2 AAO 模板的结构及有序孔生长机理的研究..... | 28        |
| § 3-3 AAO 模板的制备和形貌表征.....       | 31        |
| 本章小结 .....                      | 38        |
| 参考文献 .....                      | 39        |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 第四章 不同尺寸聚苯胺纳米线的制备及其导电性的研究.....        | 41 |
| § 4-1 引言.....                         | 42 |
| § 4-1-1 有序列阵体系模板法的合成技术要点.....         | 42 |
| § 4-1-2 聚苯胺的导电机理及导电性的影响因素.....        | 42 |
| § 4-2 PANI 纳米线列阵在 AAO 模板内的制备.....     | 43 |
| § 4-3 AAO 模板内 PANI 纳米线列阵的电化学性质研究..... | 46 |
| § 4-4 AAO 模板内 PANI 纳米线导电性的研究.....     | 51 |
| 本章小结 .....                            | 58 |
| 参考文献 .....                            | 59 |
| <br>                                  |    |
| 第五章 常温下聚苯胺纳米点的库仑阶梯效应.....             | 61 |
| § 5-1 引言.....                         | 62 |
| § 5-2 库仑堵塞效应研究进展.....                 | 62 |
| § 5-3 聚苯胺薄膜的制备及其性能表征.....             | 64 |
| § 5-4 聚苯胺纳米点的制备及其性能表征.....            | 67 |
| § 5-4-1 聚苯胺纳米点的制备及其电化学性质研究.....       | 67 |
| § 5-4-2 聚苯胺纳米点形貌及电子传输性能表征.....        | 68 |
| 本章小结.....                             | 73 |
| 参考文献.....                             | 74 |
| <br>                                  |    |
| 作者攻读硕士学位期间发表的论文.....                  | 76 |
| <br>                                  |    |
| 致谢.....                               | 78 |

# Catalog

## Preparation and Characterization of Polyaniline Nanowires and Nanodots

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Chinese Abstract</b> ·····  | I         |
| <b>English Abstract</b> ·····  | III       |
| <b>Chapter 1 Introduction</b> ·····  | <b>1</b>  |
| § 1-1 Introduction of Nano Materials·····  | 1         |
| § 1-2 Primary Application of Nano Materials·····   | 7         |
| § 1-3 Progress of Nano-Scale Conductive Polymer in Template·····   | 11        |
| § 1-4 Plan and Aim of This Thesis·····   | 15        |
| Reference·····   | 17        |
| <b>Chapter 2 Experiment</b> ·····  | <b>21</b> |
| § 2-1 Reagent·····   | 21        |
| § 2-2 Electrode·····   | 22        |
| § 2-3 Condition of Experiment·····   | 22        |
| § 2-4 Apparatus of Experiment·····   | 23        |
| <b>Chapter 3 Preparation and Characterization of AAO Template</b> ·····                                  | <b>26</b> |
| § 3-1 Introduction·····  | 27        |
| § 3-2 Structure and Forming Mechanism of AAO Template·····   | 28        |
| § 3-3 Preparation and Morphology Characterization of AAO Template·····                                   | 31        |
| Result·····  | 38        |
| Reference·····   | 39        |
| <b>Chapter 4 Preparation and Conductivity Research of PANI Nanowires with<br/>Different Scales</b> ····· | <b>41</b> |

|   |  |    |
|---|--|----|
| § 4-1   | Introduction   | 42 |
| § 4-1-1   | Key Factor of Order Array with Template Synthesis                            | 42 |
| § 4-1-2   | Conduction Mechanism and Influencing Factor of Conductance of PANI           | 42 |
| § 4-2   | Preparation of PANI Nanowires and Array in AAO Template                      | 43 |
| § 4-3   | Electrochemical Properties of PANI Nanowires and Their Array in AAO Template | 46 |
| § 4-4   | Conductance research of PANI Nanowires and Their Array in AAO Template       | 51 |
|   | Result   | 58 |
|   | Reference  | 59 |
| <b>Chapter 5 Coulomb Staircase Behavior of Polyaniline Nanodots at Room Temperature</b> |  | 61 |
| § 5-1   | Introduction   | 62 |
| § 5-2   | Progress of Coulomb Blockade   | 62 |
| § 5-3   | Preparation and Characterization of PANI Film                                | 64 |
| § 5-4   | Preparation and Characterization of PANI Nanodots                            | 67 |
| § 5-4-1   | Preparation and Electrochemical Properties of PANI Nanodots                  | 67 |
| § 5-4-2   | Morphology and Electron Transport Characterization of PANI Nanodots          | 68 |
|   | Result   | 73 |
|   | Reference  | 74 |
| <b>Publication of Author</b>  |  | 76 |
| <b>Thanks</b>   |  | 78 |

## 摘要

# 聚苯胺纳米线和纳米点的制备及其性能表征

由于科技的发展，微电子器件时代将不可避免被纳米电子器件和纳米光子器件所取代。如今，物理学家、化学家、生物学家和工程师们正携手合作，推动着纳米科技的飞速发展。源于上个世纪九十年代的纳米科技在不久的将来将彻底改变我们的生活。

研究表明，元件尺寸小于100nm时，集成器件不再遵从传统的操作规律，反而具有显著的量子效应和统计涨落特性。纳米电子学和光子学是纳米科技中十分活跃的领域，它们的发展将很快对我们的日常生活产生影响。纳米电子学和光子学的基础是纳米器件，尤其是纳米集成电路。采用什么新材料、新技术和新工艺，利用载流子的何种量子特性来构成纳米电子、光子器件和纳米电子、光子集成阵列均在探索之中。采用导电聚合物作为纳米电子光子器件和微结构的电接触是一种有希望的选择。

聚苯胺纳米线、纳米点及其阵列在纳米电子学、纳米光学、纳米光电器件中将有重要的应用。本文以阳极氧化铝膜为模板合成了聚苯胺纳米线和纳米点以及它们的列阵，研究了聚苯胺（PANI）纳米线和纳米点列阵的电性质和电化学性质。同时利用扫描电子显微镜（SEM）、扫描探针显微镜（SPM）对它们的形貌进行了表征。本文主要研究结果如下：

### 一、“两步法”制备阳极氧化铝模板（AAO）

1. “两步法”是一种切实可行的方法。通过“两步法”制备的模板孔洞大小比较均匀、孔洞的排布有序性较好、孔洞在膜中保持了线性结构。
2. 在本文所控制实验条件下，以硫酸、草酸和磷酸作为电解质溶液阳极氧化得到的阳极氧化铝模板的孔径大小分别为20nm、40~50nm 和100nm。制备得到的模板孔洞大小分布都比较均匀，在一定范围内孔洞呈现有序排列的蜂窝形状。特

别是以磷酸作为电解质溶液阳极氧化得到的氧化铝模板的孔洞具有十分清楚的六边形结构接近理想状态。

## 二、PANI 纳米线及其列阵在 AAO 模板内的制备及性能表征

1. 以不同孔径的 AAO 为模板，利用恒电位法制备了尺度为 20—100 纳米的 PANI 纳米线及其列阵。
2. 通过导电原子力显微镜 (C-AFM) 直接测定了单根 PANI 纳米线的导电率，发现 PANI 纳米线的电导率随其直径增大而减小。
3. 从 PANI 纳米线的 I—V 曲线可以得到其导电性质与半导体类似，但它又不同于半导体，未在实验的偏压范围内观察到 PANI 的反向击穿现象，可能原因是在一定的反向偏压下离子脱嵌使得它由部分氧化态（导电态）转变为还原态（绝缘态）。
4. 以  $\text{ClO}_4^-$  离子掺杂的部分氧化态 PANI 纳米线的电导率比氧化态和还原态的电导率高二个数量级。
5. 研究了 PANI 纳米线及其列阵的电化学性质，发现在实验的电位扫描范围内其峰电流同扫描速度成线性关系，纳米线列阵表现出薄层电化学行为。

## 三、聚苯胺纳米点及其列阵的制备及电子输运性能的初步研究

1. 以草酸阳极氧化得到的 AAO 为模板，利用恒电位法制备了 PANI 纳米点及其列阵。
2. 在常温下利用 C-AFM 对其形貌和电子输运性能进行表征，发现其 I—V 曲线具有库仑阶梯现象。
3. 研究了恒电位法制备的 PANI 薄膜，发现其导电性在二维空间上分布不均匀，但与纳米点体系不同的是 PANI 薄膜没有出现库仑台阶现象。

关键词：阳极氧化铝，模板法合成，聚苯胺，纳米线，纳米点，电导率，库仑阶梯



## **Abstract:**

# **Preparation and Characterization of Polyaniline Nanowires and Nanodots**

---

With the development of science and technology, the applications of nanotechnology will inevitably take the place of that of micro electronic technology. Nowadays, Physicians, Chemists, Biologists and Engineers are joining together to expand our knowledge of nanotechnology. We are confident that nanotechnology, which was born in the 1990s, will change the way of our life completely in the near future.

It is known that when the size of device is smaller than 100nm, integrated device no longer obey traditional operation rules. On the contrary, such integrated device have obvious quantum effect and property of statistical fluctuation. Nanoelectronics and nanophotonics are branches of nanotechnology which have received much attention recently. The development of nanoelectronics and nanophotonics will soon have a great influence on our daily life. The base of nanoelectronics and nanophotonics are nanodevices, especially nano integrated circuit. What materials to choose, what new technique and technology to use and what kind of property to employ in order to construct nanoelectronics and integrated array of nanoelectronics is still being explored. Choosing conducting polymer as nanodevices and electrical contact of microstructures and nanostructures is prospective.

PANI nanowires, PANI nanodots and their array synthesized using Anodic Aluminum Oxide (AAO) membrane as template play important roles

in nanoelectronics、nanophotonics、nano-optoelectronic devices. The electronic and chemical properties of PANI nanowires, PANI nanodots and their array have been studied. Meanwhile the morphology of them has been characterized by scanning electron microscopy (SEM)、scanning probe microscope (SPM). The main results may be listed as below:

### **1. Preparation of AAO membrane using “Two Steps” method**

- 1) “Two Steps” method is a good method to prepare Anodic Aluminum Oxide membrane in good condition. The AAO membrane prepared by “Two Steps” method has honeycomb structure and ordered pores with a line feature, and it has an excellent uniformity in diameter and space of holes.
- 2) Under the conditions mentioned in this paper, choosing sulfate acid、oxalic acid and phosphoric acid as electrolyte solution, the average diameters of pores obtained in Anodic Aluminum Oxide membrane were 20nm、40~50nm and 100nm respectively. The membrane prepared in this method has ordered pores in space and distribution and has honeycomb structure in a certain range. It should be noted that choosing phosphoric acid as electrolyte solution, the structure of the pores in Anodic Aluminum Oxide membrane is very close to hexagon.

### **2. Preparation and Characterization of PANI nanowires and their array in AAO template**

- 1) PANI nanowires embeded in different AAO template within 20—100nm and their array were prepared by potentiostatic method.
- 2) The conductivities of single PANI nanowire have been determined using an atomic force microscopic tip with a conducting probe, which show that the conductivity of PANI nanowire lineally increase while the decrease of the diameter of nanowire.

- 3) Our preliminary results of measured current-voltage curves show that the volt-ampere characteristic is similar to that of semiconductor, except that reverse breakdown characteristic has not been observed in the bias range of our test. The possible reason is that the conducting partial oxidized state is reduced into insulating reduced state under the applied reverse bias.
- 4) The conductivity of partial oxidized state doped with  $\text{ClO}_4^-$  ion is higher than oxidized state and reduced state by two order of magnitude.
- 5) The electrochemical properties of PANI nanowires and their arrays were studied. The results show that the peak currents are linearity proportional to potential scan rates ( $v$ ) at the range of the potential used in our experiments.

### **3. Preparation and Characterization of PANI nanodots and their array and preliminary study of their electron transport characteristics**

- 1) PANI nanodots embedded in AAO template oxidized in  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  solution and their array were prepared by potentiostatic method.
- 2) The volt-ampere characteristic of conducting PANI quantum dots have been measured using conducting atomic force microscope (C-AFM) in atmosphere at room temperature. Coulomb staircase behavior has been observed in the volt-ampere characteristic.
- 3) The PANI films prepared by potentiostatic method were studied. The results show that their conductivity are nonhomogeneous on two dimensional space. Yet, no coulomb staircase behavior has been found.

**Keyword:** Anodic Aluminum Oxide, Template Synthesis, Polyaniline, Nanowire, Nanodot, Conductivity, Coulomb staircase

# 第一章

## 绪论

### § 1-1 纳米材料简介

#### § 1-1-1 纳米科技的发展历史

著名科学家爱因斯坦说过：“未来科学的发展无非是继续向宏观世界和微观世界进军。”

物质世界按照尺度规模可以划分为多个层次，人类对客观世界的认识从肉眼能直接看到的事物开始，然后不断深入和扩大，逐渐发展到宏观领域和微观领域两个层次。宏观领域指的是下至人的肉眼可见的最小的物体，上至无限大的宇宙天体。在宏观的时间和空间坐标中上限是无限的，一般把人类肉眼可见的物体作为宏观尺度的最小物体；而微观领域指的却是构成世界万物的分子、原子以及原子内部的原子核、电子，还有基本粒子比如中子、质子等；在微观的时空里，上限一般定义为原子和分子，下限则是无穷尽的。处于微观领域和宏观领域两者之间的物质就是所谓的介观领域物质，纳米科学与技术是一种在介观区域(宏观和微观之间的连接区域)进行开发研究的新技术，它使人类认识和改造物质世界的手段和能力延伸到原子和分子，它的最终目标是直接以原子、分子及物质在纳米尺度上表现出来的特性制造具有特定功能的产品，实现生产方式的飞跃。因而，纳米科技将改变人们的思维方式，使人们的概念得以更新，对人类文明的发展产生深远的影响。

1959年，著名物理学家、诺贝尔物理奖得主 Richard Feynman 就曾经预言：“对大规模的物质而言，小规模原子的行为无足轻重，但它们都服从量子力学的定律。因此，当我们下到微观世界把原子胡乱拨弄一通时，我们将在不同的规律下工作，而且可以期望做出不同的事情。……在原子水平上我们有新的力和新的

可能性。材料的制造和生产问题将十分不同”。他所作的《底层有很多余地》这个演讲被看作是纳米科技基本概念的起源。

事实上，大约在 18 世纪 60 年代，随着胶体化学的建立，科学家们就开始进行胶体（纳米粒子）的研究，然而人们一直没有认识到它作为纳米粒子所具有的独特性质和性能方面的重要性。

1962 年，久保及合作者提出了著名的久保理论。该理论说明微小原子团在原子数有限时会有量子力学特性，并预言在金属纳米微粒中，因电子的运动受限而导致电子的能带由准连续变为分离能级，从而促进了实验物理学家对纳米尺度微粒的研究和探索。

1963 年，德国科学家 Uyeda 及合作者发展了气体蒸发法制备纳米粒子，并对金属纳米微粒的形貌和晶体结构进行了电镜和电子衍射研究，使科学界对纳米结构的认识有了多方面的认识。

1970 年，江崎 (Esaki) 和朱兆祥考虑到量子相干区域的尺度，首先提出半导体超晶格的概念。其后他们在实验中实现了量子阱和超晶格，观察到了极其丰富的物理学效应。

1974 年，Taniguchi 最早使用纳米技术 (nanotechnology) 一词描述精细机械加工。

1977 年，美国麻省理工学院德雷克斯勒教授提出，可以从模拟活细胞中的生物分子的人工类似物——分子装置开始研究，并称之为纳米科技；70 年代末，他在《纳米科技新纪元》一书中评价道：纳米科技给人类带来的变化将会像产业革命、抗菌素以及核武器给人类带来的变化那样深远。

1984 年，Gleiter 等人首次采用惰性气体凝聚法制备了具有清洁表面的纳米粒子，然后在真空室中原位加压成纳米固体，并提出纳米材料界面结构模型。到 1989 年，成功地制造出一些性能异常的复合纳米固体材料。

1990 年 7 月，在美国巴尔的摩召开的首届国际纳米科学技术会议 (NST) 上，正式把纳米材料科学作为材料学科的一个新的分支，正式提出了纳米材料学、纳

电子学、纳米机械加工学和纳米生物学等概念。

1992年9月在墨西哥的Cancun城召开了国际第一届纳米结构材料会议,正式把纳米材料作为材料科学的一个新分支分布于世。

1994年在美国波士顿召开的MRS秋季会议上正式提出了纳米材料工程。

从此,一个将微观基础理论与当代高科技紧密结合起来的新型学科——纳米材料学正式诞生,并一跃成为当今材料科学的前沿领域。纳米材料的研究风起云涌,世界各国纷纷把纳米科技列入21世纪的高科技计划。

## § 1-1-2 纳米材料

纳米材料<sup>[1, 2]</sup>一般泛指1-100 nm的颗粒。而从广义上说,纳米材料指的是在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围或由它们作为基本单元构成的材料。如果按维数划分,纳米材料的基本结构单元可以分为三类:(1)零维,指在空间三维尺度均在纳米尺度,如纳米尺度的粒子、团簇等;(2)一维,指在空间有两维处于纳米尺度,如纳米丝、纳米棒、纳米管等;(3)二维,指在空间有一维处于纳米尺度,如超薄膜、多层膜、超晶格等。因为它们合乎低维结构的尺度时,这些单元往往具有量子性质,所以对零维、一维和二维的基本单元分别又有量子点、量子线和量子阱之称。纳米材料由于其基本单元的尺寸进入到纳米量级,使其具有不同于传统固体材料的特殊性质,而且具有不同的纳米结构单元的纳米材料的物理和化学性质也差别极大。

构成无序或有序纳米材料的基本结构单元主要有下述几种:

1. 团簇: 原子团簇是一类新发现的化学物种,是在20世纪80年代才发现的,原子团簇是指几个至几百个原子聚集体(粒径小于或等于1nm),如 $\text{Fe}_n$ ,  $\text{Cu}_n\text{S}_m$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  (n和m都是整数)和碳簇( $\text{C}_{60}$ ,  $\text{C}_{70}$ 等富勒烯)。

原子团簇不同于具有特定大小和形状分子、分子间以弱的结合力结合的松散分子团簇和周期性很强的晶体,原子团簇的形状可以多种多样,它们尚未形成

规整的晶体，除了惰性气体外，它们都是以化学键精密结合的聚集体。

原子团簇可分为一元、二元、多元原子团簇和原子簇化合物。绝大多数原子团簇的化合物的结构不清楚，但已知有线状、层状、管状、骨架状、球状等等。

原子团簇有许多特殊的特性，如极大的比表面积使它具有异常高的化学活性和催化活性、光学性质的量子尺寸效应、电导的几何尺寸效应、 $C_{60}$ 掺杂及掺包原子的导电性和超导性等等。当前能大量制备并分离的团簇是 $C_{60}$ 等富勒烯。

2. 纳米粒子：纳米粒子是指颗粒尺寸为纳米量级的超细微粒。它的尺度大于原子簇(cluster)，小于通常的微粒，其研究始于 20 世纪 70 年代中期。纳米粒子一般在 1~100nm 之间，有人称之为超微粒子 (ultra-fine particle)，是肉眼和一般显微镜看不见的微小微粒。

3. 纳米管、纳米棒、纳米丝和同轴纳米电缆：纳米管是由纳米片“卷起来”形成圆筒形的纳米结构；准一维实心的纳米材料是指在两维方向上为纳米尺度，长度比上述两维方向上的尺度大的多，甚至为宏观量的新型纳米材料。纵横比（长度与直径的比率）小的称为纳米棒，纵横比大的称为纳米丝或纳米线；同轴纳米电缆是指芯部为半导体或导体的纳米线，外面包敷异质纳米壳体（导体或非导体），外部的壳体和芯部线是共轴的。

### § 1—1—3 纳米材料的特性

纳米材料泛指尺寸在 1-100nm 间的超细颗粒。它的尺度处于原子簇和宏观物体交界的过渡域，是介于宏观物质与微观原子或分子间的过渡亚稳态物质。当粒子尺寸进入纳米量级时，它可能呈现出传统固体材料不具有的量子尺寸效应、小尺寸效应、表面效应和宏观量子隧道效应<sup>[3-6]</sup>。

#### 1. 量子效应<sup>[7, 8]</sup>及其对纳米材料性质的影响

当粒子尺寸下降到某一值时，例如小于德布罗意波长、费米半径、激子半径、

非弹性散射平均自由程等时，将产生量子效应。量子尺寸效应是量子效应之一，产生量子尺寸效应时，金属费米能级附近的电子能级由准连续变为离散能级的现象和纳米半导体粒子存在不连续的最高被占据分子轨道和最低未被占据的分子轨道能级，能隙变宽现象。

能带理论表明，金属费米能级附近的电子能级一般是连续的，这一点只有在高温或宏观尺寸情况下才成立；对于只有有限个导电电子的超微粒子来说，低温下能级是离散的。对于大粒子或包含无限个原子的宏观物体来说，它们的能级间距几乎为零；而对于纳米粒子，久保等<sup>[9, 10]</sup>采用一电子模型求得金属超微粒子的能级间距：

$$\delta = 4E_F/3N \propto V^{-1}$$

其中 $E_F$ 为费米能级， $N$ 为粒子中的总导电电子数， $V$ 是超微粒的体积。显然，当 $N \rightarrow \infty$ 时， $\delta \rightarrow 0$ ，即对大粒子或宏观物体，能级间距几乎为0；而对于纳米粒子，由于 $N$ 为有限值， $\delta$ 就有一定的值，即能级间发生了分裂。当能级间距大于热能、磁能、静磁能、静电能、光子能量或超导带态的聚集能时，这时必须要考虑量子尺寸效应，这会导致纳米粒子磁、光、声、热、电以及超导电性与宏观特性有着显著的不同。晶体的尺寸很小，载流子的运动被局限在一个小的晶格范围内，类似于盒子中的粒子，这是一种新的物质运动状态，它既有别于块状固体中大晶体内电子的运动状态，又有别于分子、原子的运动状态。对于半导体纳米材料，量子尺寸效应使其在粒径减小时能隙增宽、禁带宽度向正、负两个方向等幅度增加，因而其UV/Vis吸收光谱蓝移，出现一系列吸收峰的台阶。发射光谱亦蓝移，发光强度增加。

## 2. 表面效应<sup>[11-13]</sup>及其对纳米材料性质的影响

表面效应是指纳米粒子表面原子数与总原子数之比随粒径的变小而急剧增大后引起的性质上的变化。研究表明，固体表面原子与内部原子所处的环境不同，前者的周围缺少相邻的原子，有许多悬空键，具有不饱和性质，易与其它原子结



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫