



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

# 研究生论文写作指导（05）

## 第一部分 学术论文写作与发表

### 第二节 学术论文组织结构——题目/摘要/ 关键词/方法

西安交通大学电子与信息学部 李永东



# CONTENS

## 课程基本情况介绍

一、题目

二、摘要

三、关键词

四、方法





西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

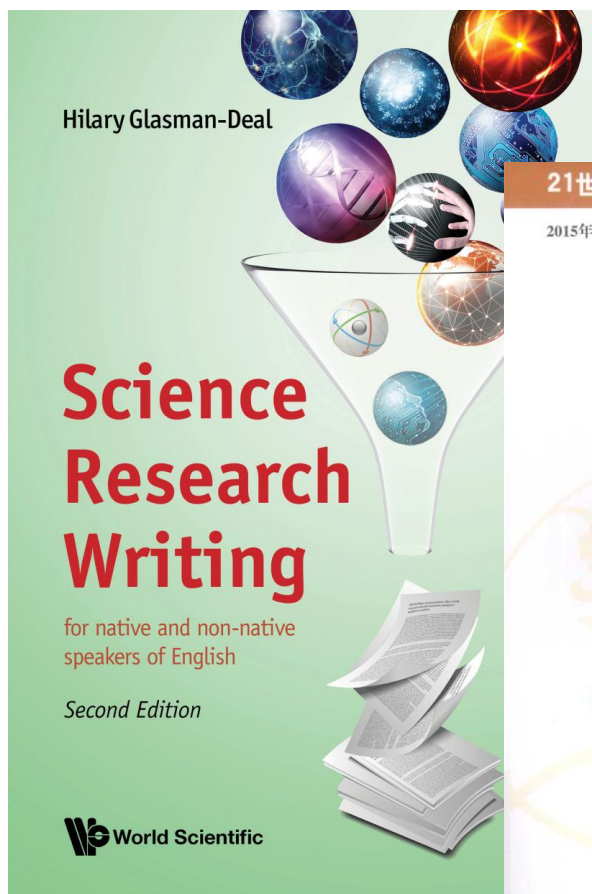
# 课程基本情况介绍





小节	主要内容	学时	任课教师
<b>第一部分</b>	<b>学术论文写作与发表</b>	<b>10学时</b>	<b>课程组</b>
第一节	学术论文的核心要素（开场）	2学时	管晓宏
第二节	学术论文组织结构——题目/摘要/关键词/方法	2学时	彭文博 陈军
第三节	学术论文组织结构——结果/讨论/致谢/文献	2学时	周迪 王耀功
第四节	学术论文的图表处理及撰写工具	2学时	曹猛 刘甫 谭文疆
第五节	学术论文发表与评审过程	2学时	郑通兴
<b>第二部分</b>	<b>学位论文撰写</b>	<b>4学时</b>	<b>课程组</b>
第六节	硕/博学位论文写作规范	2学时	闫森
第七节	硕/博学位论文送审流程及答辩技巧	2学时	张萌
<b>第三部分</b>	<b>学术道德</b>	<b>2学时</b>	<b>课程组</b>
第八节	论文撰写、送审及发表后涉及的学术道德	2学时	杨晓飞

\*课程组其他任课教师：李永东、杨清宇



# 课程考核方式



考核要点与占比

① 日常考勤（20%）

② 自选题，撰写一篇中文学术论文（可以是综述论文，不少于3000字，40%）

③ 自学学堂在线的mooc课程《英文科技论文写作与学术报告》（以微信或手机注册学堂在线，学完课程并取得85分以上成绩，提供成绩和个人身份证明截图，40%）：

[https://www.xuetangx.com/course/XJTU08081000424/10322258?channel=i.area.manual\\_search](https://www.xuetangx.com/course/XJTU08081000424/10322258?channel=i.area.manual_search)

\*6月底前，向各班助教提交第2、3部分材料



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

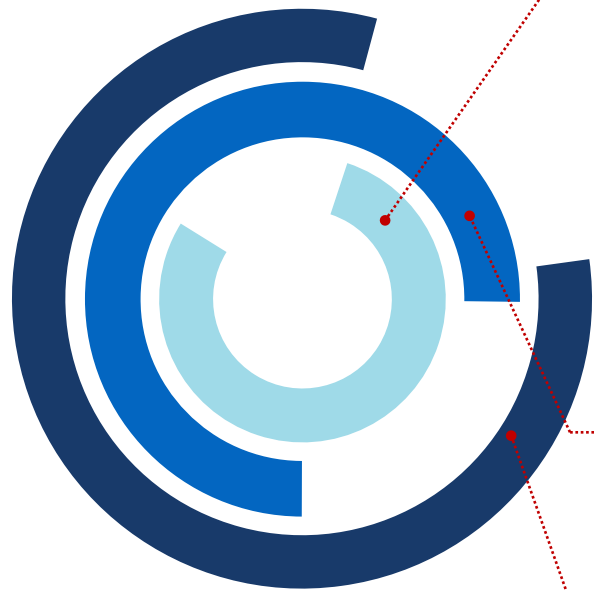
# 题目

# 01



# 1.1 题名概念

## 什么是题名？它的作用？



题名：俗称文题、题目、标题（或“总标题”，以区别于“层次标题”），是论文的总纲。

反映论文最重要的特定内容的最恰当、最简明的词语的逻辑组合。

题目：立论式和非立论式2大类。



# 1.1 题名概念

## 立论式和非立论式

### 1. 立论式题名能直接揭示出论文的总论点。

例如：“翻两番”要靠科学技术；地球及类地行星起源于天体大爆炸；

### 2. 非立论式题名虽然说出了研究的问题或论述的范围，但没有表达出作者的基本观点和见解。

“翻两番”的关键问题；地球及类地行星起源的新假说；

# 1.2 题名的一般要求

## 1. 准确得体

准确地表达论文的中心内容，恰如其分地反映研究的范围和达到的深度，不能使用笼统的、泛指性很强的词语和华而不实的辞藻。

※ 常见问题如下：

1. 题名反映的面大，而实际内容包络的面窄。
2. 题名一般化，不足以反映文章内容的特点。
3. 不注意分寸，有意无意拔高。

# 1.2 题名的一般要求

## 1. 准确得体

※ 常见问题如下：

### 1. 题名反映的面大，而实际内容包络的面窄。

“新能源的利用研究”：实际上文中只讨论沼气的利用问题。沼气只是“新能源”中的一种，显然原题过于泛指和笼统。可改为“沼气的利用研究”

又如：

“体育俱乐部教学模式的可行性研究”：实际上文中讨论的是高职院校体育俱乐部的教学模式问题，显然缺限定定语。改为“高职院校体育俱乐部教学模式的可行性研究”

# 1.2 题名的一般要求

## 1. 准确得体

※ 常见问题如下：

2. 题名一般化，不足以反映文章内容的特点。

“论机械化在我国农业现代化建设中的作用”：

此题名不能引人注目，因为与此类似的题名已经不少，那些文章从不同的角度都在阐明农业机械化的作用；而该文有着十分明显的特点，就是首次提出对于这一论题的定量分析的方法，通过建立数学模型和进行一系列的计算，得出了比较有说服力的结论：因此将其改为

“机械化在我国农业现代化建设中的作用的定量分析”

# 1.2 题名的一般要求

## 1. 准确得体

※ 常见问题如下：

### 3. 不注意分寸，有意无意拔高。。

如有的作者，其成果的研究深度并不大，却好把“.....的机制”“.....的规律”一类词语用在题名上。比较客观的做法是，除确实弄清了“机制”、掌握了“规律”之外，一般地取名为“.....现象的（一种）解释”“.....的一种机制”等比较恰当，比较慎重，也留有余地。

# 1.2 题名的一般要求

## 2. 简短精炼

题名应简明，使读者印象鲜明，便于记忆和引用。GB/T 7713.2规定，  
题名“一般不宜超过20字”。我们应把它视为上限，在保证能准确反映“最主要的特定内容”的前提下，题名字数越少越好，即19字能解决问题的就不用20字。

※ 常见问题如下：

1. 尽可能删去多余的词语。
2. 避免将同义词或近义词连用。
3. 题名不易简化时，可用加副题名的办法来减少主题名的字数。

# 1.2 题名的一般要求

## 2. 简短精炼

※ 常见问题如下：

### 1. 尽可能删去多余的词语。

(1). “关于钢水中所含化学成分的快速分析方法的研究” 共21字，有多余的词语。

改为“钢水化学成分的快速分析法” 改后只有12字，完全能反映论文特定内容。

(2) “含Bi硅基孕育剂对铸态铁素体球铁的孕育作用及Bi对石墨形态影响的试验研究”

共34字，有多余的词语。

改为“含Bi硅基孕育剂对铸态铁素体球铁的孕育作用” 改后只有20字，完全能反映论文的特定内容。

# 1.2 题名的一般要求

## 2. 简短精炼

※ 常见问题如下：

### 2. 避免将同义词或近义词连用。

(1). “叶轮式增氢机叶轮受力分析探讨”：其中“分析”与“探讨”是近义词，保留其一即可。据文章内容，删去“探讨”，即改为“叶轮式增氢机叶轮受力分析”

(2) 其他如“.....的研究和探讨”“.....的分析研究”等，一般地也可相应删去其中一个。



# 1.2 题名的一般要求

## 2. 简短精炼

※ 常见问题如下：

3. 题名不易简化时，可用加副题名的办法来减少主题名的字数。

(1) 题名语义未尽，用副题名补充说明论文的特定内容

电场诱导酵母菌原生质体融合的研究

——原生质体分离、电融合条件及其机制

# 1.2 题名的一般要求

## 2. 简短精炼

※ 常见问题如下：

3. 题名不易简化时，可用加副题名的办法来减少主题名的字数。

(2) 一系列研究工作用几篇论文报道，或者是分阶段的研究结果，各用不同的副题名区别其特定内容。

“紧致齐性空间上的调和分析：”

I. 傅里叶级数的Poisson求和紧致齐性空间上的调和分析

II. Poisson非切向极大函数紧致齐性空间上的调和分析

III.  $H_p$  空间及其原子分解

# 1.2 题名的一般要求

## 2. 简短精炼

※ 常见问题如下：

3. 题名不易简化时，可用加副题名的办法来减少主题名的字数。

(3)其他有必要用副题名作为引申或说明的情况。

“单缸柴油机进气系统参数的优化——模拟计算与性能测试相结合的方法”

“一个积蓄地表水的实用方案——解决廊坊市缺水问题的措施”

◆ 不必要而用了副题名，也是不对的。例如：

“大学教师的教学现状分析——基于北京大学的样本分析”

副题名无必要，改为“基于北京大学样本的大学教师教学现状分析”修改后比较简练。

# 1.2 题名的一般要求

## 3. 容易认读

题名中应当避免使用非共知共用的缩略语、首字母缩写字、字符、代号等。

例如：

1. “**GIS**在国土资源信息化中的应用”中 **GIS** 是“地理信息系统”的英文缩写字，在行业或学科中是共知共用的；所以，可以用于题名中。
2. “应用**RAPD**技术研究甘蔗属及其近缘属种间的亲缘关系”中的**RAPD**，尽管是同行业或学科中的读者可能熟悉的也不多；因此宜改为  
“应用**DNA**随机扩增多态性技术研究甘蔗属及其近缘属种间的亲缘关系”

# 1.3 题名的文字要求

题名在文字表达上还有特殊要求，那就是题名比内容的行文要求更高，即一定要符合现代汉语的语法、修辞和逻辑规则，决不能出现语病，同时要尽量做到能吸引读者，并给人以美感。

※ 要点如下：

1. 结构应合理。
2. 选词应准确。
3. 详略应得当。

# 1.3 题名的文字要求

## 选词应准确

题名用词应仔细选取，否则会使语义不明或产生逻辑错误。

### 1. 例如：“煎炸油**质量**测试仪的研制”

在汉语里，“质量”一词有2种完全不同的含义，一种是物体中所含物质的多少另一种是产品或工作的优劣两者毫无关系。

从文章内容看，该测试仪是用来测量煎炸油的品质指标的，而不是用来测量煎炸油的多少；所以，将“质量”改为“品质”，表意比较准确。

# 1.3 题名的文字要求

## 详略得当

※ 常见问题如下：

### 1. 避免“的”的多用和漏用。

(1) “专家系统结构的分析”不用“的”既通顺又简练，即改为“专家系统结构分析”

(2) “绕流三角形钝体的通道流场的数值预测”中第1个“的”删去后改为“绕流三角形钝体通道流场的数值预测”，显得干脆利落。

(3) “电磁场中的带电粒子的拉氏函数的选定”中的前2个“的”删去后，即改为“电磁场中带电粒子拉氏函数的选定”，也显得干脆利落。

# 1.3 题名的文字要求

## 详略得当

※ 常见问题如下：

2. 不能随便省略词语。省去了不该省的词语，叫作苟简。会造成语法和逻辑错误。

(1) “车辆维修器材计算机信息处理系统结构的分析”按文意应改为“车辆维修器材管理的计算机信息处理系统”

(2) “H13钢常规处理与细化处理的组织与性能”此与本意“经常规处理与细化处理的H13钢的组织与性能”相悖。原因是省去了“后”这一关键性的词，补上后题名为“H13钢常规处理与细化处理后的组织与性能”



# 1.3 题名的文字要求

## 详略得当

※ 常见问题如下：

### 3. 语序应正确。

(1) “计算机辅助机床几何精度测试”，其实想表达的正确意思如下：

“机床几何精度的计算机辅助测试”

(2) 题名中结构助词“的”的位置不能忽视，否则表达的可能不是作者的本意。例

如：如下两个题目：

“拱坝<sup>的</sup>应力特点和分布规律的探讨”

“拱坝应力<sup>的</sup>特点和分布规律”



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

署名

02



# 署名的定义

作者在自己撰写的文章中签署自己的姓名、工作单位及其地址，叫作署名。

有什么意义？

## 2.1 署名的意义

### 1. 署名作为拥有著作权的声明

《中华人民共和国著作权法》规定：“著作权属于作者”，著作权包括“署名权，即表明作者身份，在作品上署名的权利”。可见，在发表的论文中署名，是国家赋予作者的一种权利，其作品即受到国家法律的保护。其实，署名也是作者通过辛勤劳动所应得的一种荣誉，以此表明他们的劳动成果和作者自己得到了社会的承认和尊重。署名本身即向社会声明，作者对该作品拥有了著作权，任何个人和单位不能侵犯。

## 2.1 署名的意义

### 2. 署名表示文责自负的承诺

所谓文责自负，就是论文一经发表，署名者即应对论文负法律责任，负政治上、科学上的责任和道义上的责任，如果论文中存在剽窃、抄袭的内容，或者政治上、科学上和技术上存在错误，那么署名者就应完全负责，署名即表示作者愿意承担这些责任。

### 3. 署名便于读者同作者联系

署名也是为了建立作者与读者的联系。读者阅读文章后，若需要同作者商榷，或者要询问、质疑或请教，以及求取帮助，可以直接与作者联系。署名即表示作者有同读者联系的意向，署名也为读者同作者联系提供了可能。

## 2.2 署名对象

### GB/T 7713.2规定：

1. 署名者只限于那些参与选定研究课题和制定研究方案、直接参加全部或主要部分研究工作并做出主要贡献，以及参加论文撰写并能对内容负责，同时对论文具有答辩能力的人员。
2. 仅参加部分工作的合作者、按研究计划分工负责具体小项的工作者、某一项测试任务的承担者，以及接受委托进行分析检验和观察的辅助人员等，均不应署名；
3. 署名者可以将他们作为参加工作的人员一一列入“致谢”段，或注于篇首页地脚处，表示感谢。

## 2.2 署名对象

署名条件归纳如下：

- 1) 参加主要研究工作并做出主要贡献；
- 2) 参加论文撰写；
- 3) 对论文的主要内容能够负责并具有答辩能力。

只有同时满足以上3个条件的人员才能成为署名作者。

## 2.3 署名位置与格式

一般，学术性和技术性期刊中将署名置于题名下方，并采用如下格式：

作者姓名

作者工作单位名称及地址





西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

# 摘要

# 03



# 摘要定义及作用

## 1. 定义

《文摘编写规则》指出，摘要是“以提供文摘内容梗概为目的，不加评论和补充解释，简明、确切地记述文献重要内容的短文”。

## 2. 主要作用：

1. 让读者尽快了解论文的主要内容，以补充题名的不足。
2. 为科技情报人员和计算机检索提供方便。

# 摘要定义及作用

## 2. 主要作用：

### 1. 让读者尽快了解论文的主要内容，以补充题名的不足。

科技文献数量大，读者不可能一拿到文章就通读。读者是否需要通读某篇论文，从题名上进行判断后，主要的就是根据摘要来决定；所以，摘要担负着吸引读者和介绍文章主要内容的任务。

### 2. 为科技情报人员和计算机检索提供方便。

论文发表后，文摘杂志或摘要数据库对摘要可以不做修改或稍做修改而直接利用，从而可避免由他人编写摘要可能产生的误解、欠缺和错误，这就为科技文献的检索和利用提供了极大的方便。

# 摘要分类

1. 按摘要的不同功能来划分，大致分3种类型或形式。
  - (1) 报道性摘要；
  - (2) 指示性摘要；
  - (3) 报道-指示性摘要；

# 摘要定义及作用

## 1. 报道性摘要。

报道性摘要即资料性摘要或情报性摘要。它用来报道论文所反映的作者的主要研究成果，向读者提供论文中全部创新内容和尽可能多的定量或定性的信息，尤其适用于试验研究和专题研究类论文，多为学术性期刊所采用。篇幅以200~300字为宜。

### “BiSrCaCuO高温超导纤维”实例如下：

采用激光加热小基座法（LHPG）成功地制备出BiSrCaCuO超导纤维。它性能稳定，工艺可重复性高。纤维最大长度达60mm，直径范围为35~500 $\mu\text{m}$ ，其中细径纤维有挠性。超导纤维的起始转变温度为118K，零电阻温度为87K，临界电流密度为2.5kAcm<sup>2</sup>（77K，H=0，直流电测量）。纤维中超导相主要为低温相（2212相），显微结构有典型的取向性。纤维的超导电性与其生长条件及后处理过程密切相关。首次指出，a轴平行于纤维的轴向。

可见此摘要以“摘录要点”的形式报道出作者的主要研究成果和比较完整的定量及定性的信息。

# 摘要定义及作用

## 1. 指示性摘要。

指示性摘要即概述性摘要或简介性摘要。它只简要地介绍论文的论题，或者概括地表述研究的目的，仅使读者对论文的主要内容有一个概括的了解。篇幅以50~100字为宜。

### “冷轧槽楔外端与摩擦影响的定量分析”实例如下：

建立了与Avitzur不同的连续速度场，经变上限积分与参量积分求得槽楔冷轧变形力上界解析解，并侧重定量地讨论了外端与摩擦对变形力的影响。

此摘要只概括地介绍了论文的论题——冷轧槽楔外端和摩擦影响的定量分析，使读者对（且仅对）论文的主要内容（作者的主要工作）——建立了速度场、求得解析解和定量地讨论了外端与摩擦对变形力的影响——有大致地了解。

# 摘要定义及作用

## 1. 报道-指示性摘要。

是以报道性摘要的形式表述论文中价值最高的那部分内容，其余部分则以指示性摘要形式表达。篇幅以100~200字为宜。

### “柴油机燃用棉籽油的试验研究”实例如下：

介绍不经任何改装的S195型柴油机燃用棉籽油与柴油混合油或纯棉籽油的试验研究情况。结果表明：燃用棉柴混合油或纯棉籽油时，发动机性能良好，无异常现象；适当调整供油提前角、加大循环供油量，可以达到原机功率，而且烟度有所下降。还分析了S195型柴油机在试验工况下的燃烧特性和放热规律。。

此论文价值最高的部分是试验结果——用报道性摘要的形式来表述，而对其余部分则用指性摘要的形式概括予以说明，如“介绍了试验研究情况”“分析了燃烧特性和放热规律”，“情况”怎样，“特性和规律”是什么，均未陈述；所以，这是一篇比较典型的报道-指示性摘要。

# 摘要的内容

## 1. 摘要的四要素。

摘要的内容一般包括研究工作的目的、方法、结果和结论，这即是摘要的“四要素”。

(1) 目的——研究、研制、调查等的前提、目的和任务，所涉及的主题范围。

(2) 方法——所用的原理、理论、条件、对象、材料、工艺、结构、手段、装备、程序等。

(3) 结果——实验的、研究的结果，数据，被确定的关系，观察的结果，得到的效果等。

(4) 结论——结果的分析、研究、比较、评价、应用，提出的问题，今后的课题，假设，启发，建议，预测等。



# 摘要的写作要求

根据国标规定，可以把摘要的写作要求归纳成如下几点。：

## 1. 用第三人称。

作为一种可供阅读和检索的独立使用的文体，摘要宜用第三人称而不用其他人称来写。有的摘要中出现了“我们”“笔者”做主语的句子，一般讲，这会减弱摘要表述的客观性；不少摘要中还以“本文”做句子的主语，这在人称上倒可以，但有时逻辑上讲不通。

例如：摘要 本文对铸铁的抗汽蚀性能及其关联因素进行了实验研究，认为石墨是铸铁气蚀的破坏源……。

# 摘要的写作要求

根据国标规定，可以把摘要的写作要求归纳成如下几点。：

## 4. 文字表达上应符合“语言通顺，结构严谨，标点准确”的要求。

摘要中的语言应当符合现代汉语的语法规则、修辞规则和逻辑规则，不能出现语病。只有符合这些规则的语句才是通顺的、简洁的、合理的，由这样的语句构成的摘要才能准确而简明地表达论文的主要观点和内容。摘要定稿时要注意纠正语病，删节啰唆、重复的词语和句子。

摘要中先写什么，后写什么，要按逻辑顺序来安排，每个句子同上下文的关系要反映出它们之间有联系或区别，否则上下文或衔接不明，或逻辑关系混乱，不能顺理成章。摘要定稿时要检查或调整结构，理顺前后的逻辑关系。

标点符号具有辅助修辞作用，摘要中标点符号的使用更要准确、合理，摘要定稿时要仔细检查或订正。

# 3 PART 摘要的写作要求

## How to construct a *Nature* summary paragraph

Annotated example taken from *Nature* 435, 114–118 (5 May 2005).

One or two sentences providing a **basic introduction** to the field, comprehensible to a scientist in any discipline.

Two to three sentences of **more detailed background**, comprehensible to scientists in related disciplines.

One sentence clearly stating the **general problem** being addressed by this particular study.

One sentence summarizing the main result (with the words “**here we show**” or their equivalent).

Two or three sentences explaining what the **main result** reveals in direct comparison to what was thought to be the case previously, or how the main result adds to previous knowledge.

One or two sentences to put the results into a more **general context**.

Two or three sentences to provide a **broader perspective**, readily comprehensible to a scientist in any discipline, may be included in the first paragraph if the editor considers that the accessibility of the paper is significantly enhanced by their inclusion. Under these circumstances, the length of the paragraph can be up to 300 words. (This example is 190 words without the final section, and 250 words with it).

During cell division, mitotic spindles are assembled by microtubule-based motor proteins<sup>1,2</sup>. The bipolar organization of spindles is essential for proper segregation of chromosomes, and requires plus-end-directed homotetrameric motor proteins of the widely conserved kinesin-5 (BimC) family<sup>3</sup>. Hypotheses for bipolar spindle formation include the ‘push–pull mitotic muscle’ model, in which kinesin-5 and opposing motor proteins act between overlapping microtubules<sup>2,4,5</sup>. However, the precise roles of kinesin-5 during this process are unknown. Here we show that the vertebrate kinesin-5 Eg5 drives the sliding of microtubules depending on their relative orientation. We found in controlled *in vitro* assays that Eg5 has the remarkable capability of simultaneously moving at  $\sim 20 \text{ nm s}^{-1}$  towards the plus-ends of each of the two microtubules it crosslinks. For anti-parallel microtubules, this results in relative sliding at  $\sim 40 \text{ nm s}^{-1}$ , comparable to spindle pole separation rates *in vivo*<sup>6</sup>. Furthermore, we found that Eg5 can tether microtubule plus-ends, suggesting an additional microtubule-binding mode for Eg5. Our results demonstrate how members of the kinesin-5 family are likely to function in mitosis, pushing apart interpolar microtubules as well as recruiting microtubules into bundles that are subsequently polarized by relative sliding. We anticipate our assay to be a starting point for more sophisticated *in vitro* models of mitotic spindles. For example, the individual and combined action of multiple mitotic motors could be tested, including minus-end-directed motors opposing Eg5 motility. Furthermore, Eg5 inhibition is a major target of anti-cancer drug development, and a well-defined and quantitative assay for motor function will be relevant for such developments.

# 3 PART | 摘要的写作要求

The detection of infrared radiation enables night vision, health monitoring, optical communications and three-dimensional object recognition. **Silicon is widely used in modern electronics, but its electronic bandgap prevents the detection of light at wavelengths longer than about 1,100 nanometres. It is therefore of interest to extend the performance of silicon photodetectors into the infrared spectrum, beyond the bandgap of silicon. Here we demonstrate a photovoltage field-effect transistor that uses silicon for charge transport, but is also sensitive to infrared light owing to the use of a quantum dot light absorber.** The photovoltage generated at the interface between the silicon and the quantum dot, combined with the high transconductance provided by the silicon device, leads to high gain (more than  $10^4$  electrons per photon at 1,500 nanometres), fast time response (less than 10 microseconds) and a widely tunable spectral response. Our photovoltage field-effect transistor has a responsivity that is five orders of magnitude higher at a wavelength of 1,500 nanometres than that of previous infrared-sensitized silicon detectors. The sensitization is achieved using a room-temperature solution process and does not rely on traditional high-temperature epitaxial growth of semiconductors (such as is used for germanium and III–V semiconductors). Our results show that colloidal quantum dots can be used as an efficient platform for silicon-based infrared detection, competitive with state-of-the-art epitaxial semiconductors.



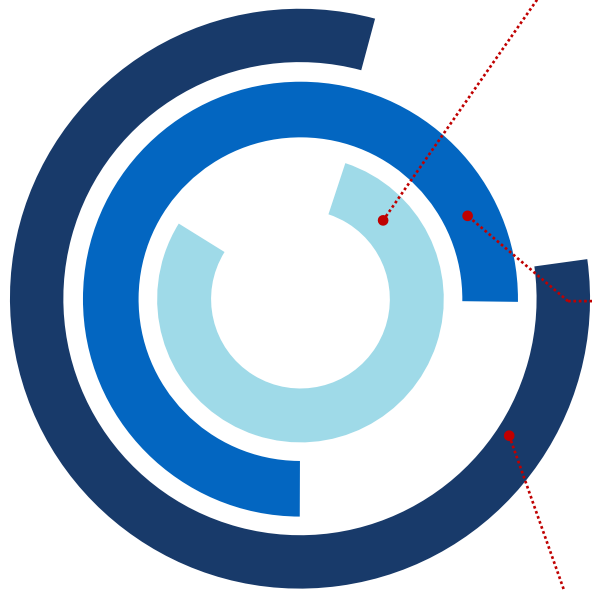
西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

关键词

04



## 什么是关键词？它的作用？



关键词是：为了满足文献标引或检索工作的需要而从论文中选取出的词或词组。

关键词一般包括“主题词”和“自由词”两部分。

一篇论文通常包含3至6个关键词，能够反映论文的主题内容，位于摘要之后。

**主题词是：**专门为文献的标引或检索而从自然语言的主要词汇中挑选出来并加以规范化了的词或词组。

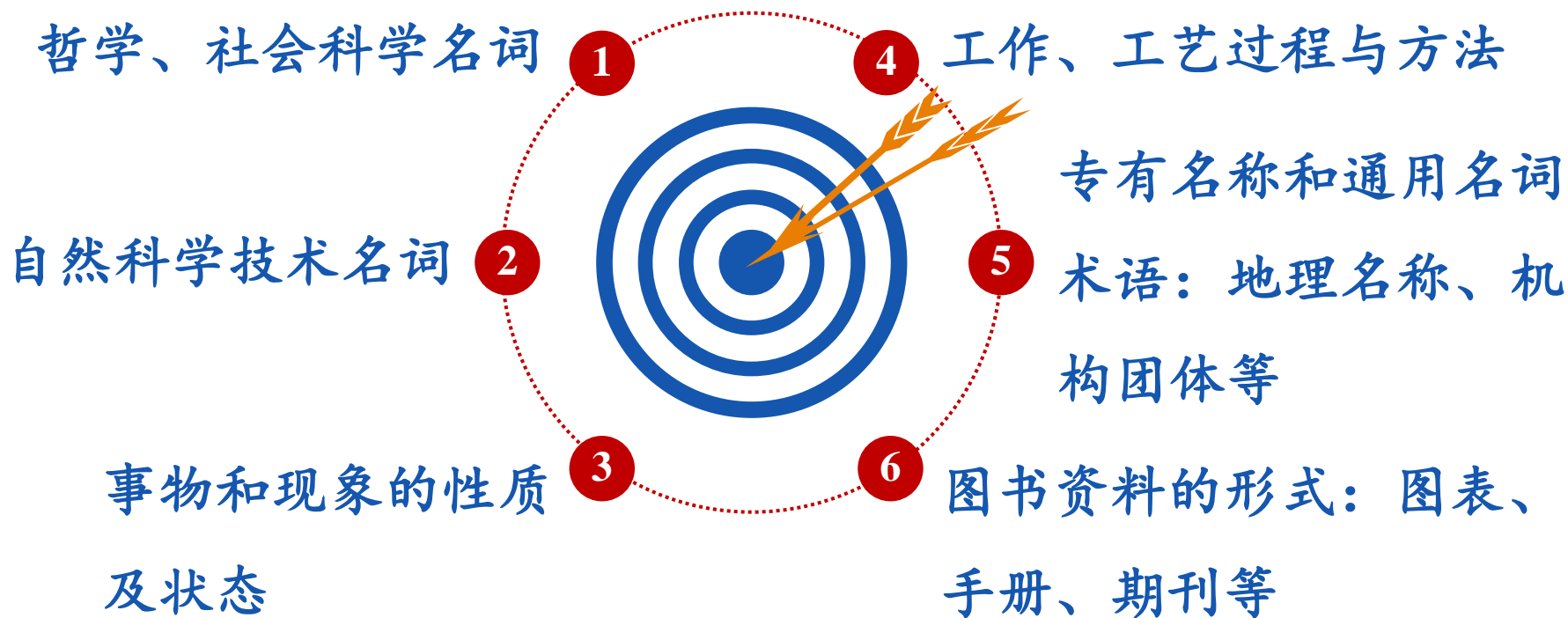
例：生物学、温度、电压、中国科学院。

**自由词是：**为文献的标引需要但却未规范化即还未收入主题词表中的词或词组。

例：压电电子学、电压信号输出。

# 关键词

通常可用作关键词的大致有如下几类：





# 关键词



## 词组的类型

- ① 形+名（以名词为中心）
- ② 名+名（联合组词）
- ③ 名+动（主谓词组）
- ④ 动+名（动宾词组）

1) 专称或成语，可作为固定词组。例如：

经济危机

液压系统

运动稳定性理论

2) 一个词组经概念分解后，其中一方失去检索意义时，则必须用词组。例如：

剩余 | 价值

数字 | 时代

“剩余价值”若拆分为“剩余”和“价值”这2个词，单说“剩余”则其意义与“剩余价值”中的“剩余”显然是不同的，即它失去了检索意义；因此“剩余价值”不可拆分，而应以其整体作为关键词。

同理，“数字时代”若拆分为“数字”和“时代”这2个词，单说“数字”则其意义与“数字时代”中的“数字”显然是不同的，即它失去了检索意义；因此“数字时代”不可拆分，而应以其整体作为关键词。

3) 一个词组经概念分解后，其中任何一个单词不同于原来词组中的含义时，则要求用词组。例如：

宫外 | 孕

“宫外孕”中的“宫外”（子宫外）与一般意义上的“宫外”（如“皇宫外”）是不同的，因此“宫外孕”不可拆分，而应以其整体作为关键词。

4) 使用频率高的常用词组  
如：

汽车噪声

环境污染

活性炭过滤法

5) 某些限定性偏正词组，不可拆分  
如：

定性分析

制动性能

横向稳定性

## 关键词不能使用词组的情形

1

由事物及其方面构成的词组，应当拆分。例：水坝|设计、小麦|播种。

2

事物整体及其部分构成的词组，应当拆分。例：飞机|发动机、电视|天线。

3

表达事物与国家、地区、时代、人名等方面的词组，应当拆分。例：中国|教育。

第36卷第1期

压电与声光

Vol. 36 No. 1

2014年02月

PIEZOELECTRICS & ACOUSTOOPTICS

Feb. 2014

文章编号:1004-2474(2014)01-0012-04

# 声表面波 ZnO 薄膜紫外探测器的响应机制研究

彭文博<sup>1</sup>, 贺永宁<sup>1</sup>, 赵小龙<sup>1</sup>, 刘 晗<sup>1</sup>, 康 雪<sup>1</sup>, 文常保<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学 电子与信息工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:**通过射频磁控溅射法在以  $128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$  为压电衬底的声表面波(SAW)小波器件上沉积了一层 ZnO 薄膜作为紫外光敏感膜,利用网络分析仪对所制备探测器的紫外光响应特性进行了测试。实验结果表明,在波长 365 nm、光强  $210 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  的紫外光照射下,探测器的频移量最大可达到 37 kHz,且具有良好的可重复性。探测器的紫外光响应过程和暗场恢复过程均包含了一个快过程和一个慢过程,前者决定于 ZnO 薄膜表面氧气分子的吸附与解吸附过程,而后者则决定于外界氧气分子与 ZnO 内部本征缺陷间的慢交换过程。最后,结合声电效应和半导体光电导效应分析给出了探测器紫外光响应过程和暗场恢复过程的理论公式。该文对基于 ZnO 薄膜的高灵敏度 SAW 紫外探测器响应机制的揭示,为其瞬态特性的改善和实用化提供了思路。

**关键词:**声表面波; ZnO 薄膜; 氧气吸附与解吸附; 本征缺陷

**中图分类号:** TM23; TN65; TP212 **文献标识码:** A

## 小体积电压输出型 ZnO 惠斯通电桥式 紫外探测单元

郭小川<sup>1,2</sup>, 彭文博<sup>1,2</sup>, 蔡亚辉<sup>1,2</sup>, 郭书文<sup>1,2</sup>, 赵小龙<sup>1,2</sup>, 贺永宁<sup>1,2</sup>

**摘要:** 针对传统 ZnO 紫外光探测器无法直接输出电压传感信号而难以与后端信号处理芯片集成的问题,提出并实现了一种小体积电压输出型 ZnO 惠斯通电桥式紫外探测单元。利用大功率射频磁控溅射 SiO<sub>2</sub> 钝化层时高能粒子轰击 ZnO 薄膜表面的方法增加了 ZnO 薄膜表面的氧空位缺陷浓度,使 ZnO 光电导器件桥臂的紫外光响应电流获得近 2 个数量级的显著提升;在 SiO<sub>2</sub> 钝化层上通过射频磁控溅射 ZnO 作为紫外线遮光层可大大减少 ZnO 光电导器件桥臂的暗场漏电流。遮光后 ZnO 光电导器件桥臂的紫外光响应电流显著降低至原先的 1/10;所制备的 ZnO 电桥式紫外探测单元可将入射的紫外光信号直接转换为电压信号输出,且可对 1  $\mu$ W~6 mW 跨 3 个数量级强度范围的紫外光进行响应,响应度最高达 9 mV/ $\mu$ W,紫外光可见光对比度为 143.8,且整个单元体积小于 1 mm<sup>3</sup>。实验结果表明,该 ZnO 电桥式紫外探测单元具有高响应度、宽响应范围、高紫外光可见光抑制比、可直接输出电压传感信号、体积小等优点,可用于实现具有高集成度的 ZnO 紫外感算一体芯片。

**关键词:** ZnO;惠斯通电桥;紫外探测;电压信号输出





# Optimization of Si/ZnO/PEDOT:PSS tri-layer heterojunction photodetector by piezo-phototronic effect using both positive and negative piezoelectric charges

Fangpei Li, Wenbo Peng\*, Zijian Pan, Yongning He\*

*School of Microelectronics, School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China*

## ARTICLE INFO

### Keywords:

ZnO  
Piezo-phototronic effect  
Positive and negative piezo-charges  
Tri-layer heterojunction  
Photodetector

## ABSTRACT

Piezo-phototronic effect has been extensively introduced to improve the performances of optoelectronic devices by utilizing external-strain-induced positive or negative piezoelectric charges (piezo-charges) to modulate the generation, separation, transportation, and recombination of charge carriers. However, in most cases till today, only the piezo-charges with one polarity (*i.e.*, positive or negative) are effectively utilized. In this work, we fabricated an n-Si/n-ZnO/p-PEDOT:PSS tri-layer heterojunction photodetector (HPD) and systematically investigated the piezo-phototronic effect on its performances simultaneously utilizing both positive and negative piezo-charges for the first time. The photoresponsivity to 405 and 648 nm laser illuminations can be gigantically optimized, with astonishing enhancement of over 3000% and 1800% compared to that under strain free condition, respectively. The in-depth working mechanisms is systematically investigated by carefully analyzing the strain-induced variations in energy band diagrams of the HPD, which is further validated by finite element analysis simulations. This work not only presents the utilization of both positive and negative piezo-charges to optimize the performances of HPD by the piezo-phototronic effect, but also provides a deep understanding of how the piezo-charges of two opposite polarities work together in one optoelectronic device, hopefully proposing the idea of introducing the piezo-phototronic effect into three-/multi-layer devices in future applications.





西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

方法

05



## (1) 实验材料:

主要指对材料的来源、性质和数量，以及材料的选取和处理等事项的阐述。

## (2) 实验方法:

主要指对实验的仪器、设备，以及实验条件和测试方法等事项的阐述。

## (3) 模拟仿真/理论建模方法:

主要指对模拟仿真/理论建模的软件关键设置、理论模型建立关键思路的阐述。

写作要点是：实验对象即实验材料的名称、来源、性质、数量、选取方法和处理方法，实验目的，使用的仪器、设备（包括型号、名称、量测范围和精度等），实验及测定的方法和过程，出现的问题和采取的措施等。

材料和方法的阐述必须具体，真实。如果是采用前人的，只需注明出处；如果是改进前人的，则要交代改进之处；如果是自己提出的，则应详细说明，必要时可用示意图、方框图或照片等配合表述。

由于科学技术研究成果必须接受检验，介绍清楚这些内容，目的在于使别人能够重复操作。

# 声表面波ZnO薄膜紫外探测器的响应机制研究

## 1 实验

### 1.1 SAW 小波器件

SAW 器件可用的压电晶体衬底种类很多,常用的有铌酸锂( $\text{LiNbO}_3$ )及石英等。由于  $\text{LiNbO}_3$  具有较高的机电耦合系数和 SAW 传播速度,因此本文选用  $128^\circ\text{Y-X}$   $\text{LiNbO}_3$  (机电耦合系数为 5.5%, SAW 速度为 3 979 m/s) 作为压电晶体衬底,以减小器件的插入损耗和尺寸。

图 1 为 SAW 小波器件的版图和实物图。图 1(a)利用了 Morlet 小波函数对输入、输出 IDT 进行加权设计,且引入了 MSC 结构<sup>[2]</sup>,使 SAW 小波器件的频谱特性拥有更小的通带波纹和更好的带外抑制,且其中心频率设计为 50.882 MHz。图 1(b)中,I 为输入 IDT,M 为 MSC 结构,O 为输出 IDT,M 和 O 之间的区域 R 是敏感膜区域,S 是  $128^\circ\text{Y-X}$   $\text{LiNbO}_3$  压电晶体衬底,A 是一种吸收声波的材料。使用网络分析仪测量了 SAW 小波器件的  $S_{21}$  曲线,结果如图 2 所示。由图可知,SAW 小波器件的实测中心频率为 50.880 615 MHz,与设计值很接近,且其频谱曲线在通带内很光滑,通带外损耗达到 -70 dB。

### 1.2 ZnO 薄膜的制备

在 SAW 小波器件上通过射频磁控溅射法沉积一层 ZnO 薄膜作为紫外光敏感膜,即成功制备了基于 ZnO 薄膜的 SAW 紫外探测器。射频磁控溅射 ZnO 薄膜的参数为:本底真空小于  $3 \times 10^{-4}$  Pa,氩气流量为标准状况下 10 mL/min,功率 120 W,在室温条件下溅射 2 h。

### 1.3 ZnO 薄膜的表征及探测器的测试

使用日本日立 S-4800 型扫描电子显微镜(SEM)和 D/MAX-2400 型 X 线衍射仪(XRD)分别对 ZnO 薄膜的表面形貌和晶向进行了表征。

使用美国安捷伦 E5071C 型网络分析仪和上海嘉鹏 ZF-8 型紫外光源(光强  $210 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , 波长 365 nm)对探测器的紫外光响应特性进行了测试。

### 4. Experimental methods

#### 4.1. Fabrication process of n-Si/n-ZnO/p-PEDOT:PSS heterojunction photodetector

ZnO seed layer was deposited on top of n-type polished Silicon wafer (boron doped, 5–10  $\Omega\cdot\text{cm}$ ,  $< 100 >$ ) by radio frequency magnetron sputtering at the power of 120 W and chamber pressure of 1.0 Pa for 10 min, with the thickness of 100 nm. The ZnO seed layer coated silicon substrate was then placed into the mixed nutrient solution (25 mM Zinc Nitrate and 12.5 mM Hexamethylenetetramine) for ZnO nanowires growth via a low-temperature hydrothermal method in a mechanical convection oven at 95 °C for 1 h. In order to get separated ZnO nanowires, 5.4 mL ammonium hydroxide (Alfa Aesar) was added per 100 mL mixed nutrient solution. After cooling down the whole system, the sample was washed by ethanol and distilled water, collected, and dried by high purity  $\text{N}_2$  gas. Then a thin layer of PEDOT:PSS

(Sigma-Aldrich) was spin-coated on the a at 5000 rpm, followed by heating at 120 ITO was subsequently sputtered on PEDOT:PSS, and a thin layer of aluminum was sputtered on the wafer as the bottom electrode. Testing wires and bottom electrodes using silver paste was employed to fix the testing wires. The device size was 7 mm  $\times$  10 mm.

### Optimization of Si/ZnO/PEDOT:PSS tri-layer heterojunction photodetector by piezophototronic effect using both positive and negative piezoelectric charges

#### 4.2. Optical and electrical measurements

The electric signals of the device were measured and recorded by a precision source/measure unit (B2902A, Keysight). The optical input stimuli were provided by a laser (wavelengths of 405 nm and 648 nm). A continuously variable filter was used to control the light intensity.



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

# 谢谢聆听！

西安交通大学电子与信息学部

