

物理·技术·应用

TRIZ 创新方法在微纳米光子学研究中的应用*

张中月

(陕西师范大学物理学与信息技术学院 陕西 西安 710062)

张永元

(陕西师范大学物理学与信息技术学院 陕西 西安 710062)

(西安科技大学理学院 陕西 西安 710054)

屈瑜 田晓俊

(陕西师范大学物理学与信息技术学院 陕西 西安 710062)

孙永伟

(中国神华集团 北京低碳清洁能源研究所 北京 102209)

(收稿日期:2014-12-09)

摘要:TRIZ方法是一种科学的、系统的、被证实行之有效的创新方法.本文在介绍了TRIZ的基本思想和理论体系的基础上,应用TRIZ方法设计了微纳米光子学波导结构和增强透射结构.结果表明,TRIZ方法对优化结构设计具有很好的帮助,是一种在科学研究中值得推广的创新方法.

关键词:TRIZ 创新 微纳米光子学

创新是一个民族发展进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力.提高自主创新能力,建设创新型国家是国家发展战略的核心,是提高国家综合国力的关键.创新的关键是人才,只有大批创新人才的涌现,创新才能实现.创新人才是先进生产力和先进文化的代表,是国家综合国力的重要组成部分.我国正力争在2020年建设成为创新型国家,如何以最快、最短的时间培养创新人才,提高其创新能力,一直是众多科技工作者研究的热点.“自主创新,方法先行”,应该首先从方法上解决创新的问题.科学的创新方法是提升自主创新能力的基础和重要保证.

国内外关于技术创新的方法大约有300多种,发明问题解决理论(TRIZ)^[1~3]是众多创新方法中的一员.TRIZ是目前被证实最为有效的创新方法学论,是一套有系统的、科学的、行之有效的解决发明问题的工具.TRIZ方法可以帮助人们系统、全面地分析问题,快速发现问题根源或者矛盾,准确确定问题的探索方向,突破思维障碍,打破思维定式,以新的视角分析问题,加快创新的进程,提高研发项目的成功率.基于以上的优点,2006年,中国政府就提出的“自主创新,方法先行”,将TRIZ作为国家重点推行的创新方法.

目前,TRIZ已经在世界大多跨国企业如三星、通用电气、现代汽车、浦项制铁等公司的工程技术领域发挥了巨大作用,成为企业创新的利器,但是在自然科学、社会科学、管理科学、生物科学等多领域的应用相对较少.本文以微纳米光子学研究为例,应用TRIZ方法进行分析问题,验证TRIZ理论在科学研究中的适应性及有效性.

1 TRIZ 简介

TRIZ是“发明问题解决理论”俄文首字母的缩写,是20世纪60年代前苏联学者根里奇·阿奇舒勒所提出的.阿奇舒勒长期工作在前苏联的专利领域,在他对大量专利进行了分析和研究后,发现不同领域的所解决的问题虽然不一样,但在解决这些不同领域的问题时所用到的原理却基本类似.他和他的团队将这些基本原理进行了总结,并开发出了一系列的工具来更加有效地运用这些原理.并于1946年开始推广这一套系统地解决技术冲突问题的方法.作为前苏联的机密,前苏联解体后,TRIZ开始被传播到世界各地.经过60多年的发展,这门理论得到不断的丰富和完善.特别是在近30年,TRIZ理论被引入到欧美的企业后,在解决企业实际问题的过程

* 国家自然科学基金资助项目,编号:11004160;中央高校基本科研业务费专项基金资助项目上,编号:GK201303007

通讯作者:张中月(1975-),男,教授,博士生导师,主要从事微纳米光子学方面的研究.

中逐步形成更为有效的现代 TRIZ 理论体系,其知识体系如图 1 所示.

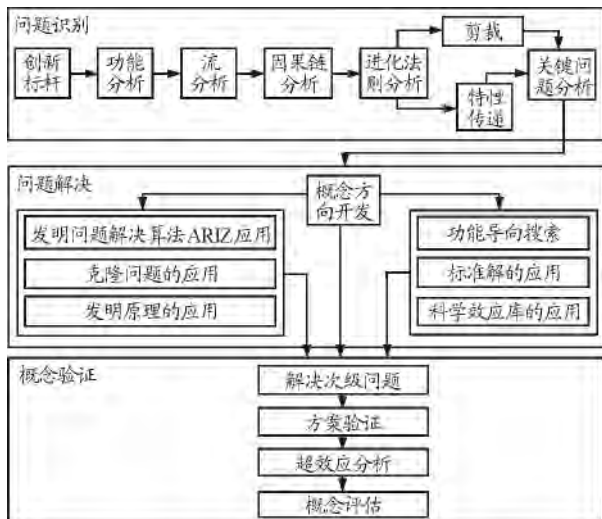


图 1 现代 TRIZ 理论体系

按照解决问题的步骤,可以分为 3 大部分,即识别问题、解决问题以及概念验证.而每一大部分,都有大量工具提供支撑.

TRIZ 的核心思想主要体现在 3 个方面:首先,无论是一个简单产品还是复杂的技术系统,其核心技术的发展都遵循着客观的规律发展演变,即具有客观的进化规律或模式;第二,各种技术难题和矛盾的不断解决是推动这种进化过程的动力;第三,技术系统发展的理想状态是用最少的资源实现最大效益的功能.

TRIZ 的基本思路是:首先,对具体问题进行全面、深入的分析,将我们所遇到的表面问题(或具体问题)转化为可以解决的关键问题然后,将这个关键问题转换为一个 TRIZ 的问题模型,比如技术矛盾、物理矛盾、物场模型,How to 模型等等.最后再利用相应的工具提出一般化的解决方案,比如矛盾矩阵和 40 个发明原理,分离原理,标准解,功能导向搜索等等.最后将这些一般化的解决方案转化为具体的、可实施的解决方案.

2 TRIZ 在波导结构设计中的应用

表面等离子极化激元(SPPs)是沿着金属和介质的界面传输的电磁波,在垂直于界面方向上以指数形式衰减,因此 SPPs 被局限在金属和介质界面在亚波长范围内传播,能够突破衍射极限.正是由于 SPPs 的这一特性,使得 SPPs 波导能够实现亚波长尺度的光信息传输与处理,从而实现光子与电子元器件在纳米尺度上的结合^[4,5].

在 SPPs 波导中,人们希望波导结构对场的局域

性要好,即模式尺度要小,以降低波导的折弯损耗以及提高光子芯片中回路和元件的密度.我们尝试应用 TRIZ 中的组合原理优化设计波导.组合原理是 TRIZ 发明原理中的第 5 号原理,该原理包括两个含义:在空间上将同类或需要连续操作的物体组合起来;从时间上将同类的部分或需要持续操作的部分组合起来.TRIZ 对该原理解释是:“使一个系统的各功能、特性或部分之间建立一种联系,其可产生一种新的、想要的或唯一的结果.通过对先前的已有功能进行组合,可以生成新的功能”.研究表明,金属与介质间的狭小空间可以限制 SPPs;在金属微纳结构外包装介质也可以将 SPPs 限制在介质中.将上述两种方法组合,我们设计了如图 2 所示波导.V 形银纳米线置于硅介质衬底上,间距为 d ,并且在 V 形银纳米线外包装覆二氧化硅.

我们应用 COMSOL 软件对所设计的波导结构进行模式分析,激发光波长为 1 550 nm,结果



图 2 波导结构的横截面

如图 3.从图中可以看出,包覆二氧化硅后,模式面积减小,波导对 SPPs 的限制性更好.

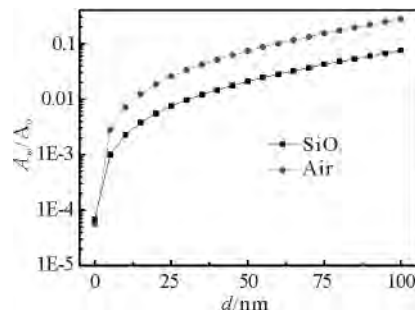


图 3 归一化模式面积

3 TRIZ 在宽频透射结构设计中的应用

1998 年,Ebbesen 等人在金属膜上刻蚀周期孔阵列,发现即使当入射光波长是孔径 10 倍时仍有很强的光透过,并且透射率高出孔面积与薄膜面积比值的 1 ~ 2 个数量级,这种现象被称为光增强透射现象 enhanced optical transmission (EOT).EOT 现象在微腔量子电动力学、光子学器件、高密度数据存储、近场光学、光滤波器、纳米感应等相关领域都具有巨大的应用潜力.当光入射到金属孔洞时,激发 SPPs,当孔洞周期与 SPPs 波长匹配时,才能产生强透射,故一般 EOT 现象的频带较窄.在实际应用中,较窄频带的应用受到限制,研究非共振引起的 EOT 现象,从而实现宽频带激发与收集,具有更广泛的意义^[6,7].

下面将应用 TRIZ 中功能分析工具和流分析工具

来分析 EOT 问题,以期产生新的想法.功能分析是指对系统进行分解,得到正常、不足、过量、有害作用,帮助工程师更详细地理解工程系统中组件之间的相互作用.运用功能分析,可以重新发现系统组件的目的和其性能表现,进而发现问题的症结,并运用 TRIZ 理论中其他解决问题的工具进一步加以改进.流分析是一种识别工程系统内物质、能量(场)、和信息流动的缺陷的分析工具,可以识别功能分析未揭示出的缺陷,弥补功能分析的不足,并能对工程系统建立物质、能量和信息的模型,从另外一个视角来分析系统.

图 4 为金属孔洞结构的上表面(假设入射电场在图 3 中左右偏振).我们将上表面划分为 3 个区域:区域 A(上下孔洞间的区域)、区域 B(左右孔洞间的区域)、区域 C(孔洞周围区域).这样以来,3 个区域组成了整个上表面.同样,金属孔洞结构的下表面也被划分为 3 个区域:区域 A',区域 B',区域 C'.金属内部被划分为两个区域:金属部分和孔部分,孔部分包括空周围的金属.

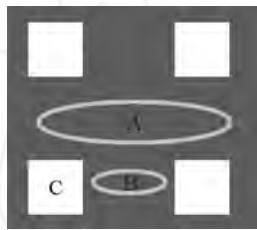


图 4 金属孔阵列的俯视图

图 5 为对金属孔洞结构进行的功能分析.超系统组件、系统对象为光.金属支撑 A,B,A',B'.孔支撑 C 和 C'.A,B,C 间导向流;A',B',C' 间导向流.

图 5 中也画出了对金属孔洞结构进行的流分析.A,B,C 均能耦合光到金属表面,但是它们之间的能量流不足.如果要使得更多能量从孔流过,需要增强从 A 到 C,从 B 到 C 的流.A',B',C' 之间导向流不强,但是这对于透射问题是有力,所以它们之间的流是正常的.

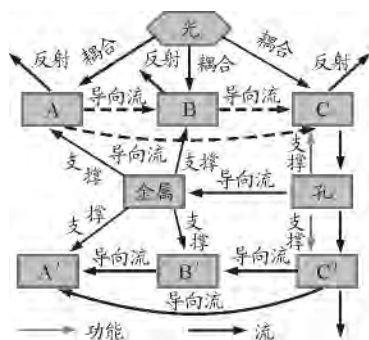


图 5 系统的功能分析及流分析

当沿图中左右方向偏振的光入射到金属表面时,SPPs 被激发,即入射光与 SPPs 相互耦合形成共振.金属中比较多的能流在 A 和 B 中流动,要使得从孔经过的能量流是宽频的,则要加强从 A 到 C,B 到 C 的流.加强 B 到 C 的流要求更多电子聚集到 C 区域,当入射光波长较大时,SPPs 波长增加,这点自然满足.由于金属部分的阻抗小于孔附近的阻抗,从 A 到 C 的能流不足.要使得能流尽量多的小孔中流过,那么就要增加 A 部分的阻抗.可以通过改变电阻、电感、电容 3 个方面来增大阻抗.电阻依赖于材

料、材料的尺寸、材料的形状;电感依赖于材料的形状、材料的尺寸;电容依赖于电容极板的面积、极板间的距离、极板间填充的材料.

通过以上分析,我们设计了图 6 所示结构,应用二氧化硅填充的缝隙增加 A 部分阻抗,使得较多的宽频能流从孔部分透过.图 7 是该结构的透射光谱.当只有孔时,透射峰是窄带的(黑线).应用二氧化硅填充的缝隙增加 A 区域阻抗后,出现了宽频的透射光谱(红线),实现了预先的构想.

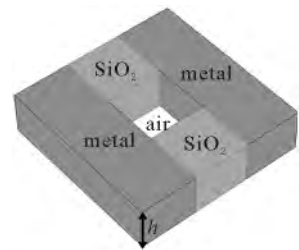


图 6 SiO₂ 填充缝隙的金属孔洞结构

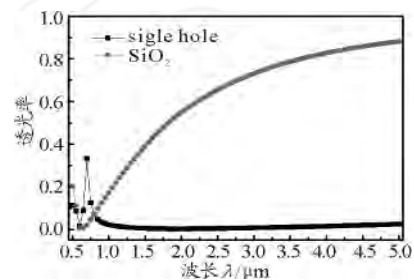


图 7 金属孔洞结构的透射光谱

4 结论

本文不仅应用 TRIZ 方法中组合原理设计了波导结构,以获得更小模式面积,而且对金属孔洞结构进行了功能分析和流分析,并给出了多种可能的实现宽频透射的解决方案.这些结果说明将 TRIZ 方法引入到某些科学研究领域中,能够帮助研究者更加快速、准确地找到问题本质及产生解决方案,从而加快创新过程,提升创新效率.

参考文献

- 1 赵敏,史晓凌,段海波.TRIZ 入门及实践.北京:科学出版社,2009
- 2 Friedman R.Problem Solving for Engineers and Scientists:A Creative Approach.New York:Van Nostrand Reinhold,1991
- 3 Karen G.TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving.London:Wiley,2011
- 4 Barnes WL,Dereux A,Ebbesen TW.Surface plasmon subwavelength optics.Nature,2003,424(6950):824—830
- 5 Ozbay E.Plasmonics: merging photonics and electronics at nanoscale dimensions.Science,2006,311(5758):189—193
- 6 Subramania G,Foteinopoulou S,Brener I.Nonresonant broadband funneling of light via ultrasubwavelength channels. Physical review letters,2011,107(16):163902.
- 7 Shen H, Maes B.Enhanced optical transmission through tapered metallic gratings.Applied Physics Letters,2012,100(24):241104