

TRIZ 剪裁思想在科学研究中的应用*

屈 瑜 王勇凯 王天堃 张永元 张中月

(陕西师范大学物理学与信息技术学院 陕西 西安 710119)

(收稿日期:2016-10-28)

摘 要:剪裁是现代 TRIZ 理论体系里的一个非常重要的分析问题工具. 在技术领域,利用剪裁产生新问题,解决新问题以解决项目的初始问题. 在介绍剪裁工具基本思想的基础上,综述了其在圆二色性研究中的具体体现. 将使读者切实感受到剪裁在科学研究中的存在,自觉应用 TRIZ 剪裁思想将有助于提高创新速度.

关键词:TRIZ 剪裁 表面等离激元学 圆二色性

1 引言

TRIZ 意译为发明问题解决理论,是前苏联学者根里奇·阿奇舒勒及他的同事在分析了 20 万份专利的基础上提出的. TRIZ 理论成功揭示了创造发明的内在规律和原理,不是采取折衷或者妥协的做法,而是着力解决系统中的矛盾问题,获得最终理想解. TRIZ 理论是目前被证实有效的创新方法. 剪裁是一种现代 TRIZ 理论中分析问题的工具,是指将一种或一个以上的系统组件去掉,而将其所执行的有用功能利用系统或超系统的剩余组件代替的方法. 通常选择那些剪裁后对系统改善最大或是有缺点的组件. 剪裁程度可以是激进式的也可以是渐进式的,具体看项目限制. 剪裁作为现代 TRIZ 理论体系里的一个非常重要的部分,是区别于经典 TRIZ 理论的一个重要工具.

剪裁有 3 条规则^[1]. 假设图 1 中一个功能的载体对功能的对象执行了一定的功能.

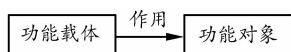


图 1 功能的表述

剪裁规则 A:如果功能的对象被剪裁,那么功能的载体就可被剪裁. 例如,白炽灯的玻璃罩的功能是隔绝罩内真空环境和罩外空气,功能的载体是玻璃

罩,功能的对象是罩内的真空环境,保持的参数为罩内的真空度,对于在宇宙飞船上的白炽灯来说,功能的对象真空环境是普遍存在的,那么作为功能载体的玻璃罩就没有必要存在了,况且玻璃罩在起飞和着陆的时候容易破碎,因此玻璃罩就可以被剪裁掉.

剪裁规则 B:如果功能的对象自己可以执行这个功能,那么功能载体可以被剪裁掉. 例如,眼镜可以把镜框、镜腿、鼻托、螺丝等系统组件都裁掉,只保留镜片,将其变身为隐形眼镜,仍可执行眼镜的功能.

剪裁规则 C:如果能从系统或者超系统中找到另外一个组件执行该功能,那么功能的载体是可以被剪裁掉的. 例如,汽车上独立的气囊盖是用来存储安全气囊的,气囊盖是功能载体,安全气囊是功能的对象,保持的参数是气囊的位置,在这里我们用汽车的方向盘执行气囊盖的功能(存储气囊),所以独立的气囊盖就可以被剪裁掉了.

剪裁可以帮助人们分析问题,产生新问题,确定解决初始问题的新方向,突破思维障碍,打破思维定势,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.

2 剪裁思想在科学研究中的应用

在科学研究中,某种机理的产生往往需要多种

* 国家自然科学基金,项目编号:61575117;中央高校基本科研业务费专项基金,项目编号:GK201601008;陕西师范大学研究生培养新基金,项目编号:2015CXSO33

作者简介:屈瑜(1992-),女,在读硕士研究生,主要从事微纳米光子学方面的学习与研究.

指导教师:张中月(1975-),男,博士,教授,主要从事微纳米光子学方面的研究.

必备的要素(功能),但是,这些要素在具体环境下的实现难度是不同的.要素意味着功能.利用剪裁思想,剪裁掉在具体环境下不容易实现或操控的要素,并将该要素的功能转移给其他要素,这样不仅会降低系统成本,而且会提升研究者对这种机理的认识.剪裁与常规思维方式不一样,它不是通过修复有问题的组件来解决问题,而是将有问题的组件去掉,然后解决去掉组件后产生的新问题.解决了剪裁带来的新问题意味着创新,剪裁的程度越大,则创新的水平也越高.

在实际应用中,首先分析产生新机理的文献,确定了研究问题后,深入分析问题的类型,找出文献描述的系统中所有组件,分析组件的功能,用功能语言描述所研究的问题.应用裁剪思想,剪裁掉某些组件,用其他组件来完成它所执行的功能.将裁剪后的模型重新描述分析,将会得到一系列新的问题.解决新问题将会在不同环境下产生基于相同机理的新现象.

3 表面等离子激元和圆二色性简介

表面等离子激元(Surface Plasmon Polaritons, SPPs)是存在于金属和介质界面处的电磁表面波.由于其独特的性质和可观的应用前景,近年来受到了大量的关注,逐渐发展成为一个学科,称为表面等离子激元学(Plasmonics).表面等离子激元可以分为传播的表面等离子激元(表面等离子极化激元)和不传播的表面等离子激元(局域表面等离子激元).SPPs具有很多新效应和新应用,例如透射增强效应、选择性光吸收、电场强束缚等.SPPs独特的光学性质使其受到了物理学、光学、材料科学、纳米科技等研究领域的广泛关注^[2~4].手性指的是结构不能与其镜像结构重合的性质,圆二色性[Circular dichroism (CD)]是检测手性结构的一种方法.圆二色性指的是手性结构对左旋圆偏振光和右旋圆偏振光(left- and right-handed circular polarizations, LCP and RCP)吸收不同的性质.手性结构普遍存在于大自然中,手性在生物化学和生命进化中起着关键的作用.一般手性分子的圆二色性在紫外光波段非常微弱,不利于生物医学和药物学的实际信号检测^[5~7].近年来,研究者利用手性等离激元纳米结构,通过其与光相互作用产生的SPPs使生物分子圆二色性响应增强,其独特的光学性质通常用在光电子器件转换圆偏振光^[8]以及生物分子分析中^[9].

4 剪裁思想在圆二色性研究中的应用

一般来讲,产生手性的必要条件是交叉非对称

的电偶极子,两个电偶极子具有相位差,如图2所示.存在一定空间角度的上下两个金属棒结构可以产生CD信号^[10].用TRIZ语言描述即:系统中的组件有上金属棒、下金属棒、中间空气介质层;超系统组件有入射光.上、下棒的功能是产生局域电子振动,中间空气介质层的功能是产生相位差.

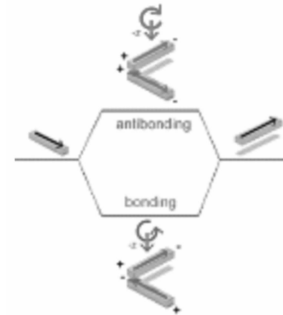


图2 产生圆二色性的交叉棒模型

下面将用裁剪工具分析圆二色性产生的问题,以期产生新的想法.

(1) 原交叉棒结构在垂直光入射方向上具有一定的高度差,以此来产生相位差.如果将两棒置于一个平面内(没有高度差),将产生相位差的原因给超系统组件(入射光).如果能解决入射光导致相位差的问题,那么就能够产生CD.研究表明单层结构在斜入射下可以激发CD效应.当纳米棒二聚体放置在倾斜入射光下,大纳米棒上的电偶极子与小金属棒上的电偶极子振荡路径不平行.大小金属棒之间出现了相位差,这个差异形成了手性性质^[11].在这里,用的是剪裁规则C,用超系统中的光倾斜照射平面结构,以此来执行上下两棒产生相位差的功能,也就是说上下金属棒就可被剪裁掉.这样就可以制备单层结构而非双层金属棒,使其在实际应用中更广泛.

(2) 当剪裁掉中间空气介质层后,应用其他结构将两个偶极子振动(两根棒上的振动)连接起来,从而形成3D手性结构,包括多种金属螺旋材料和多层手性金属结构,形成较强的光学CD效应^[12].当银纳米螺旋在LCP和RCP的入射下,相邻偶极子之间耦合形成CD.这里用到的是剪裁规则A.

(3) 应用剪裁工具中的规则B,我们小组将中间空气层剪裁掉,用系统的两个棒本身执行产生相位差的功能,设计了具有高度差的L型结构并在实验上成功制得这种结构,利用结构本身的高度差在垂直光的照射下产生的相位差来产生CD.应用有限元COMSOL数值算法和实验研究了其在LCP和RCP的激发下的不同光学响应,结合超手性电磁场分布

并探索了其产生 CD 的机制. 该文章于 2016 年发表在国际期刊“Optics Express”^[13].

(4) 应用剪裁工具中的规则 C, 我们引入不同介质层来执行产生相位差的功能以实现 CD 效应. 将中间的空气层变成 3 层的介质-金属-介质, 通过中间金属层的作用, 可以有效实现间接耦合从而提高结构手性, 如图 3 所示. 该方法已经通过计算机模拟证实并已撰写文章, 于 2016 年发表在国际期刊“Journal of Physics D: Applied Physics”^[14].

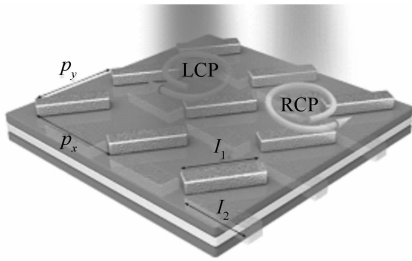


图 3 加入多层介质的手性结构

另外, 借鉴剪裁规则 B 的思想, 如果结构自身可以执行产生相位差这一功能, 中间的空气介质层可以被剪裁掉. 我们将平面结构倾斜一定的角度, 并已在实验上成功制得该结构, 如图 4 所示. 该结构对于垂直照射的 LCP 和 RCP 入射光的不同的响应就会产生 CD 效应. 此外, 还可以借鉴剪裁规则 C 的思想, 用各向异性介质层来执行产生相位差, 从而激发出更有趣的 CD 效应.

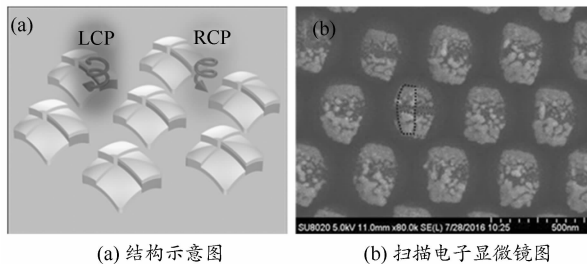


图 4 倾斜 U 型结构

5 结论

本文应用 TRIZ 裁剪工具详细分析了微纳米光子学中圆二色性结构的设计过程. 这些结果说明剪裁思想在圆二色性产生的研究过程中的重要作用, 不仅是对已有事实的陈述, 而且也是产生具有创造性的新概念、实现光学研究的快速创新, 验证了 TRIZ 理论在科学研究中的适应性及有效性. 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地产生产科学创新设计和方案, 从而加快创新过程, 提升创新效率.

参考文献

- 1 孙永伟, 谢尔盖·伊克万科. TRIZ 打开创新之门的金钥匙. 北京: 科学出版社, 2015. 79 ~ 98
- 2 M. ohtsu, K. Kobayashi, K. Kawazoe, et al. Nanophotonics: design, fabrication, and operation of nanometric devices using optical near fields. IEEE J. Sel. Top. Quant., 2002, 8(4): 839 ~ 862
- 3 W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen. Surface plasmon subwavelength optics. Nature, 2003, 424(6950): 824 ~ 830
- 4 A. V. Zayats, and I. I. Smolyaninov. Near-Field Photonics: Surface Plasmon Polaritons and Localized Surface Plasmons. J. Opt. A: Pure Appl. Opt., 2003, 5(4): S16 ~ S50
- 5 S. M. Kelly, T. M. Jess, and N. C. Price. How to study proteins by circular dichroism. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics, 2005, 1751(2): 119 ~ 139
- 6 M. Takezaki, and Y. Kito. Circular dichroism of rhodopsin and isorhodopsin. Nature, 1967, 1197 ~ 1199
- 7 A. Kuzyk, R. Schreiber, Z. Fan, et al. DNA-based self-assembly of chiral plasmonic nanostructures with tailored optical response. Nature, 2012, 483(7389): 311 ~ 314
- 8 J. K. Gansel, M. Thiel, et al. Gold helix photonic metamaterial as broadband circular polarizer. Science, 2009, 325(5947): 1513 ~ 1515
- 9 E. Hendry, T. Carpy, J. Johnston, et al. Ultrasensitive detection and characterization of biomolecules using superchiral fields. Nat. Nanotechnology, 2010, 5(11): 783 ~ 787
- 10 X. H. Yin, M. Schäferling, B. Metzger, et al. Interpreting chiral nanophotonic spectra: the plasmonic Born-Kuhn model. Nano Lett., 2013, 13(12): 6238 ~ 6243
- 11 X. X. Lu, J. Wu, Q. N. Zhu, et al. Circular dichroism from single plasmonic nanostructures with extrinsic chirality. Nanoscale, 2014, 6(23): 14244 ~ 14253
- 12 C. Song, M. G. Blaber, G. Zhao, et al. Tailorable plasmonic circular dichroism properties of helical nanoparticle superstructures. Nano Lett., 2013, 13(7): 3256 ~ 3261
- 13 Y. K. Wang, J. C. Deng, G. Wang, et al. Plasmonic chirality of L-shaped nanostructure composed of two slices with different thickness. Opt. Express, 2016, 24(3): 2307 ~ 2317
- 14 Y. K. Wang, X. J. Wen, Y. Qu, et al. Direct and indirect coupling mechanisms in a chiral plasmonic system. J. Phys. D: Appl. Phys., 2016, 49(40): 405104