

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

摘要: 裁剪是现在 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, 利用裁剪产生新问题, 解决新问题以解决项目的初始问题。本文在介绍了裁剪工具的基本思想的基础上, 综述了其在圆二色性研究中的具体体现。本文将使读者切实感受到裁剪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二十万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。裁剪是一种现代 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。通常选择那些裁剪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。

剪裁有三条规则^[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: 功能载体对功能对象执行了某种功能

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, 况且其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、螺丝等系统组件都剪裁掉, 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。

2 剪裁思想在科学研究的应用

在科学研究中，某种机理的产生往往需要多种必备的要素（功能），但是，这些要素的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它要素，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。裁剪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所有组件，分析组件的功能，用功能语言描述所研究问题。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。由于其独特的光学性质受到了物理学、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并且非常微弱，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增强响应手性结构激发的 CD 效应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。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。

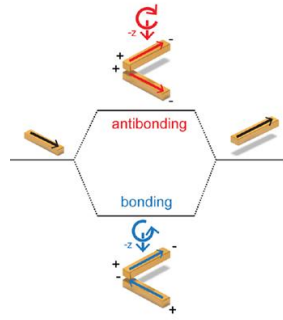


图2 产生圆二色性的交叉棒模型

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。如果将两棒至于一个平面内（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，用的是裁剪规则 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来产生相位差的功能，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，应用其它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) 应用裁剪工具中的规则 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。我们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的 CD 的机制。该文章于 2016 年发表在国际期刊“Optics Express”^[13]。

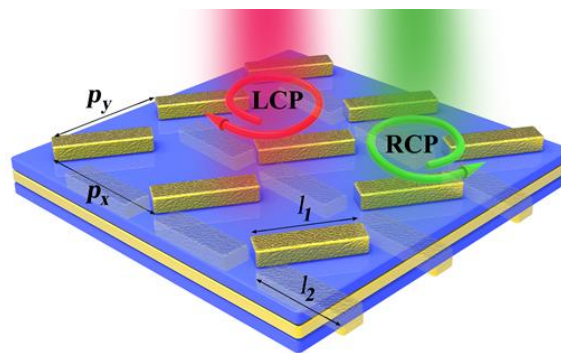


图3 加入多层介质的手性结构

(4) 应用裁剪工具中的规则 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三层的介质—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]。

另外，借鉴裁剪规则 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。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，还可以借鉴裁剪规则 C 的思想，用各项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。

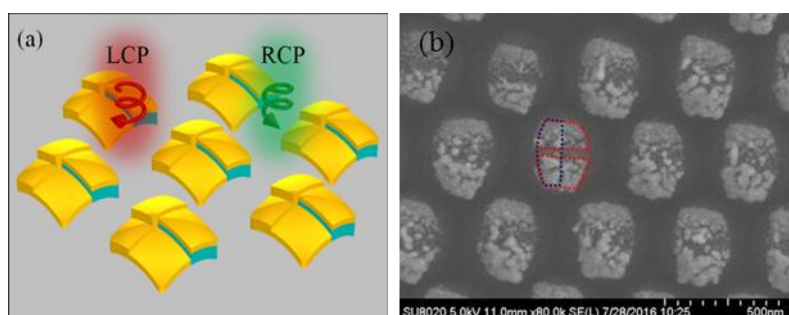


图 4 倾斜 U 型结构：(a) 结构示意图；(b) 扫描电子显微镜图

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。这些结果说明裁剪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的产生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, G. Pardatscher, E.-M. Roller, A. Hogele, C. Simmel, A. O. Govorov, and T. Liedl. DNA-based self-assembly of chiral plasmonic nanostructures with tailored optical response. *Nature*, 2012, 483(7389): 311~314
- 8 J. K. Gansel, M. Thiel, M. S. Rill, M. Decker, K. Bade, V. Saile, and M. Wegener. Gold helix photonic metamaterial as broadband circular polarizer. *Science*, 2009, 325(5947): 1513~1515
- 9 E. Hendry, T. Carpy, J. Johnston, M. Popland, R. V. Mikhaylovskiy, A. J. Laphorn, S. M. Kelly, L. D. Barron, N. Gadegaard and M. Kadodwala. Ultrasensitive detection and characterization of biomolecules using superchiral fields. *Nat. Nanotechnology*, 2010, 5(11): 783~787
- 10 X. H. Yin, M. Schäferling, B. Metzger, and H. Giessen. 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, J. W. Zhao, Q. B. Wang, L. Zhan and W. H. Ni. Circular dichroism from single plasmonic nanostructures with extrinsic chirality. *Nanoscale*, 2014, 6(23): 14244~14253
- 12 C. Song, M. G. Blaber, G. Zhao, P. Zhang, H. C. Fry, G. C. Schatz, and N. L. Rosi. 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, T. Fu, Y. Qu, and Z. Y. Zhang. 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, T. Fu and Z. Y. Zhang. Direct and indirect coupling mechanisms in a chiral plasmonic system. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2016, 49(40): 405104

基金或课题: 国家自然科学基金(61575117), 中央高校基本科研业务费专项基金(GK201601008), 陕西师范大学研究生培养创新基金(2015CXS033)

作者简介: 屈瑜 (1992-), 女, 陕西师范大学 14 级硕士研究生, 主要从事微纳米光子学方面的学习与研究. yuq7714@126.com, 18629489128