

无线电能催化碳 - 碳键断裂原理的研究

汪涵¹, 尹珑龙¹, 郭晴¹, 袁静², 张千峰^{1*}

¹安徽工业大学, 分子工程与应用化学研究所, 安徽 马鞍山

²铜陵学院, 建筑工程学院, 安徽 铜陵

收稿日期: 2021年11月24日; 录用日期: 2021年12月24日; 发布日期: 2021年12月31日

摘要

特斯拉是一个被埋没的天才, 他的无线电能传输设想一直不被世人所知, 直到一百年后才逐步认识并得以实现。今天人们在享受无线电能传输技术所发展的一系列科学应用的同时, 也设想将无线电能传输理论应用到化学领域, 于是产生了一个新的设想——无线电能催化。无线电能催化利用了频率协同作用和共振原理, 用具有吸波性质的材料为催化剂, 使得有机高聚物中的碳(sp³) - 碳(sp³)单键发生选择性断裂, 从而使大分子量分子裂解为小分子量分子, 从而可以实现对高聚物的清洁裂解。若将这一理论应用在实际生产中, 将可能产生潜在重要价值, 特别是在新能源化学方面, 因而无线电能催化作为一个新的学科交叉理论有待于更进一步的探索并期望得到突破和发展。

关键词

无线电能传输, 频率协同作用, 共振, 吸波材料, 无线电能催化

Study on the Principle of Carbon-Carbon Bond Fracture Originated from Wireless Power Catalysis

Han Wang¹, Longlong Yin¹, Qing Gou¹, Jing Yuan², Qianfeng Zhang^{1*}

¹Institute of Molecular Engineering and Applied Chemistry, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui

²Department of Civil Engineering, Tongling University, Tongling Anhui

Received: Nov. 24th, 2021; accepted: Dec. 24th, 2021; published: Dec. 31st, 2021

Abstract

Tesla is a buried genius whose idea of radio transmission remained unknown until 100 years lat-

*通讯作者。

er. Today, while enjoying a series of scientific applications developed by radio energy transmission technology, people also imagine the application of radio energy transmission theory to the field of chemistry, so a new idea—radio energy catalysis was born. Wireless energy catalysis utilizes the principle of frequency synergy and resonance, and uses materials with absorbing properties as catalysts to selectively break carbon (sp³)-carbon (sp³) single bonds in organic polymers, thereby causing that the large molecular weight molecules are split into small molecular weight molecules, so that the clean cleavage of high polymers can be achieved. If this theory is applied in actual production, it may produce potentially important value, especially in new energy chemistry. Therefore, wireless energy catalysis as a new interdisciplinary theory needs to be further explored and is expected to achieve breakthroughs and development.

Keywords

Wireless Power Transfer, Frequency Combined Methods, Resonance, Absorbed Materials, Wireless Power Catalysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 走进特斯拉——一个被人遗忘的伟大科学家

尼古拉·特斯拉[1] (Nikola Tesla 1856~1943), 塞尔维亚裔美国科学家, 世界著名的发明家、物理学家、机械工程师、电气工程师。特斯拉早年就表现出常人所没有的惊人能力——擅长发明。特斯拉一生发明创造无数[2], 但有很多发明的研究成果至今仍被美国 FBI 列为重大军事机密, 因而并不为世人所知。现在人们提到特斯拉, 第一反应却是特斯拉电动汽车, 而特斯拉汽车的发明者恰恰是极度崇拜特斯拉才将他设计的一系列新能源汽车冠名为特斯拉。因此, 我们有必要了解这位目前还不被世人所知的神秘科学家, 以及他最伟大的设想给当今世界带来的影响甚至带来的巨大生产价值。

无线电能传输设想是特斯拉毕生研究的精华所在, 这一设想甚至被他本人认为“是一种科学技术之艺术”。这一设想起源于到 1890 年代期间[3]。当时最早期的理论, 即关于电能可以通过一根导线或不通过导线传输的想法与特斯拉的电照明系统有关, 随后, 特斯拉于 1892 年 2 月[4]在伦敦举行的学术演讲中介绍了有关放电振荡器的更多新信息以及有关高频电流的进一步研究结果, 并在伦敦再次公开展示了他的“单线”灯。他曾进一步地指出, 高频电流在一定距离上很容易通过稀薄的气体传输, 并建议将其用于驱动发动机和照明电灯上, 其中, 高频振荡变压器是这个系统的最重要的组成部分。于是在 1893 年[5], 特斯拉第三次做了一场关于高频电流的学术讲座, 这个讲座最重要的部分就是通过构造一个系统, 将能量传输到地球上的任何一段距离的径量。其实他所提到的这个设想已经涉及到微波工程学早期的一些原理。之后, 特斯拉通过大量的实验[6]总结出了一个十分重要的结论: 即将高频电流传输到单个导体上是可能的, 他的下一步研究思路是将这个导体换成地球, 对他而言, 可以认为地球是一个完美的导体球, 同年他想测出地球的电容及其储存电荷的大小。他设想去微小扰动地球所带的电荷, 进而去测量这些电荷的振荡频率或周期。此时正值是赫兹发现电磁波实验的 5 年之后, 这时的无线电波可以在实验室里被检测到。当年特斯拉也同时提出了一个惊人的结论: 地球的大气层也是个导体。同时他也发现大气层也具有传输无线电能的可能性。因而, 特斯拉得出这样的结论, 即将连接两个高压端子的剩余铜导线全部拆除, 并且每个端子都连接到一个大表面的个体上。特斯拉认为, 通过在大表面的个体(天线)上施加极高

的电压,从高压端子泄漏的电流将使之在较高的空气层导电。由于气体压力存在,气体的电压越高,成为良导体的可能性也越高。他坚持认为没有必要将金属导体提升到海拔 15 英里以上的高度,并且理论上作为优良导体的大气层在各种高度均可以通过天线到达。这样的说法在当时似乎并没有什么说服力,因此特斯拉必须在专利局的官员面前进行一个通过稀有气体进行动力传输的实验演示,以提供理论与实践证据。从 1900 年 3 月 20 日(申请于 1897 年 9 月 2 日)的特斯拉原始幻灯片和专利中发现,特斯拉通过气压在 120 至 150 汞托之间的气柱连接了两个高压端子。金属汞通过玻璃管与周围的空气相隔离。在此气压下,把变压器已调谐至共振状态,特斯拉试验已经证明了,在发射机天线上使用 2~4 百万伏的电压可实现有效的功率传输。在该应用中,特斯拉还证明了另一种类似的传输方法(也使用地球作为一种导体,并使用大气的高传导层作为另一种介质导体)来申请专利权。此外特别值得关注的是在 1898 年[7],当时特斯拉已经意识到了,若想让电能通过自然媒介传输,需要满足三个重要条件:1) 需要研制出一个大功率电能发射机;2) 要完善出一个个性化且独立的能量传输途径或手段;3) 要找出电流通过地球和大气之间传播的确切规律。随后特斯拉在美国科罗拉多大瀑布处驻扎并建造了一个实验室,开始他的伟大实验历程。特斯拉从实验现象中观察到了地球的电势,以及这种电势所具有的周期性和偶然性的波动,这成为了他事先计划好的伟大设想的第一步。接下来特斯拉设计了一种装置,这种装置高度灵敏且能自我修复,它控制着一个可录音的仪器且被包括在一个二次电路中;整个装置被架设在接地的高架上,并且该装置的终端电容是可调节的。此后电势的增加导致了电穿孔现象的发生,于是产生了二次电流,反应逆相过程也可以影响原先的灵敏装置和记录器。特斯拉据此得出了这样的结论:地球是一个充满电的球体,并且电磁振动现象非常活跃;然而由于当地气候的影响,随后的实验进展尽管并不顺利,但他的装置已经在无线电能传输历史上具有里程碑式的意义,这在当时意味着不仅无线传输电报是可行的,甚至无线传输信息也不再遥不可及;因而,可以推测通过这种近乎无损的传输方式,使信息可以传遍地球的任何角落。

2. 特斯拉无线电能传输梦想的实现——21 世纪初的新突破

一直到 2007 年,无线电能传输才真正地在技术上有所突破。此时距离特斯拉的设想已过去一个多世纪;无线电能传输的有效实验装置的设计与搭建最早在 2007 年被美国麻省理工学院的物理学家所实现[8]。实验装置将源线圈和载线圈相隔 2 米,中间各耦合了两个用来电磁共振的波源发生器,波源发生器呈多股螺旋状。电源启动时,源线圈分别于两个波源发生器相耦合,进而产生共振效应,然后将共振能量传递到了负载有电灯泡的载线圈。最终的试验现象表明载线圈上的 60 W 电灯泡可以发光,而且试验证明传输效率可达到了 40%;由此无线电能传输才真正意义上的从设想逐步变为了现实。当今的无线充电技术和无线信息传播等新研究领域的发展也伴随着无线电能传输技术的发展,并且有了技术上的突破,很多科学家从传输方式[9]、传输效率[10]、传输装置[11]上不断改进无线电能传输的技术,比方说将一组波源发生器改成多组[10]改变线圈的传输角度[12],等等诸多方式。

一般的家用或实验用的加热微波炉只有一个波源发生器,相当于只有一个线圈充当天线辐射电磁波,即单一波源发生装置。而无线电能传输所要达到的共振则至少需要两个线圈,即至少要有两个或以上的波源发生装置,并且按步骤来安装。实验表明无线电能传输时所产生的共振效应传输的电磁波本身电磁能量高,电磁损耗少,而且能量传输效果也比单一波源效果好,只是在能量传输效率上需要有一定的提升。空间单一波源最大的缺点是产生的电磁波是辐照式的,适合大面积宏观体系的加热,对微观体系如化学反应体系而言则显得有点大材小用了。而双波源的无线电能传输装置则会尽可能地减少电磁波的向外耗散,致使电磁能量目标可以明确地只在源线圈和载线圈之间来回传输,因此,相较于单一波源的能量传输,双波源发生器装置的效率和加热温度都将明显地提高。

3. 微波裂解有机物原理——特斯拉理论与化学的交叉结合

当今,随着科学技术的进步,人们发现微波也能参与一系列化学反应,如微波合成[13]和微波裂解[14];其中微波合成的微观机理尚存争议,微波裂解有机物最早起源于对热裂解[15]有机物的改进与探索,但热裂解有机物最大的弊端是受热不均匀,会出现局部受热过大的现象。微波裂解能保证反应物如生成物受热均匀,所能达到的温度最大值也比普通热裂解温度要高,使产物的裂解更加彻底。有相关文献表明微波裂解不仅仅具有使高分子有机物裂解为小分子有机物的功能,还可以选择性断裂有机物的碳(sp³)-碳(sp³)单键。众所周知,有机物碳(sp³)-碳(sp³)单键的键能随化学键的键级数的增加而增大,所以相对于碳碳双键和碳碳三键而言,碳碳单键则更容易在同等外部环境下发生断裂。据此,有关科研工作者预测:是否有某种作用使得化学键断裂,而且与化学键(这里是碳(sp³)-碳(sp³)单键)的键能有关?我们都知道任何物质都具有波粒二象性,即既有粒子性又有波动性,常见的化学反应的理论解释都是粒子说的观点。举例来说,化学反应的碰撞学说和过渡态理论就是对化学反应粒子性学说的典型解释。从化学反应的定义可知,化学反应是旧化学键的断裂和新化学键的生成的过程,旧的分子裂解生成部分碎片,分子碎片再相互碰撞重新结合成新的分子,其中有效碰撞才能生成新的分子。据此,我们可以这样来分析即不论是反应物还是生成物,均采取的是“球棍”模型,即把化学键看成是刚性“木棍”或是可以作伸缩振动的弹簧。顺着这个思路,如果该“木棍”或“弹簧”本身也可以振动;用材料力学的理论,它可以根据其自由度的不同而产生不同种类的振动。将这些振动做非线性叠加,只看它的整体振动效应,就可以找到一个分子中化学键的固有振动频率,这便是化学键或反应分子波动性的体现,也正好印证了前文所述的任何物质具有波粒二象性的原理。为此,化学键便成了一个具有固有振动频率的“物质波”,一旦外界给予分子体系策动力的振动频率与分子化学键的整体固有振动频率相等时,就会产生一种奇妙的现象——分子中化学键的共振。该共振现象发生后,化学键的振动幅度即振幅会呈级数增大,甚至从理论上可以接近无穷增大。在这种情况下,非常牢固的化学键都会发生变化甚至会断裂,新的化学反应由此发生。那么当这种策动力是电磁力,即外界向反应体系内辐射电磁波,会有同样的现象发生吗?现如今人们也已开始注意到各种各样的波对化学反应的影响,在任何频率段的机械波和电磁波都能引发化学反应,如:光化学、微波化学、辐射化学、声波化学、机械化学等等。其中,电磁波中的辐射波能引发辐射化学反应,紫外光、可见光和近红外光能引发光化学反应,相应地微波则能引发微波化学反应。同样地,机械波中的次声波和超声波均能引发声波化学反应。震动波和撞击波的波长虽然相对较长,频率也相对较小,能量相对较低,但是也能引发相应地机械化学反应。基于众多波引发的化学反应,对于其反应影响的理论研究,当今人们采取的却仍然是粒子说的观点。在此基础上,可以推测出并可以开创性地提出频率对化学键影响的有关机制:因为所有的微观粒子都具有波粒二象性,所以任何分子、原子、原子核、电子都具有波动性,也具有其相应地固定的频率。当外界的振动频率与之相近时,会产生频率协同作用,结果使这些粒子产生共振,振幅达到最大值,即产生共振,共振结果使化学键的振幅急剧增大达到最大值,从而造成分子中化学键断裂形成小分子碎片,碎片重新组合引发链反应,生成新物质和新的自由基,使反应不断进行下去,且这种活性自由基参与的反应是不可逆的,由此一些小分子化合物便不断产生,且可以稳定地存在。这里的入射波可以是太阳光、电磁波、机械波、生物波、中子、 α -射线、 β -射线、 γ -射线、 χ -射线、粒子束、水波、声波等。由此我们得出这样的—个十分重要的结论:有机化学物质由分子构成,分子通过共价键的化学键相连,频率协同作用可以使化学键断裂产生新物质,说明化学键与入射波频率之间存在—一对应关系。只要用发射不同频率的波作用于不同化学键,就可以建立化学键对应共振频率的数据库,就像“锁”与“钥匙”的关系。频率的协同作用就是相同频率的波之间的叠加作用,而且这种叠加作用呈级数级的,说明在有交叉距离的情况下,我们可以用波的离力作用改变物质性能和结构。

现在我们把目光聚焦到一种具体的化学反应体系：有机物化合碳碳键波催化裂解。在有机物中，最常见的化学键是碳碳键。根据其杂化方式的不同，碳碳键又可以进一步分成碳碳单键(sp^3 杂化)，碳碳双键(sp^2 杂化)，碳碳叁键(sp 杂化)以及类似苯环的离域碳碳键。由于不同碳碳键的键级不同，从而导致了键长的不同以及化学键的键能的不同，这是由于化学键的键能与键长成反比，与键级成正比。所以碳碳单键的键能最小，对应的固有振动频率也可能相对最低。根据碳碳键骨架的不同，不同的碳碳单键所处的化学环境也有所不同，常见情况有如下几种：1) 只有碳碳单键的直链或支链饱和脂肪烃。所有的碳碳单键的周围还是碳碳单键，因此不同的碳碳单键的化学环境几乎相同，这种情况下，固有振动频率也近乎类似。所以在外界波辐射的条件下，所有位置的碳碳单键都有可能断键，波对碳碳键的选择性断裂效应是均等的。2) 存在孤立碳碳双键或碳碳叁键的直链或支链不饱和脂肪烃。这时出现了两类或三类不同的碳碳键化学环境——周围只连接单键的碳碳单键和周围连有双键或叁键的碳碳单键。由于双键或叁键的 π 电子云会部分离域到相邻的单键，使得这些碳碳单键的电子云密度增加，键能增加，键长变短，因此这种碳碳单键相较于周边只连接单键的碳碳单键来说是不容易断裂的。当外界辐射波作用于该反应物体系时，那些化学环境单一的碳碳单键键能最小，固有频率最低，因此就会优先发生断裂，这时，碳碳单键的选择性断裂已成为一种空谈的可能，碳碳键选择性裂解的现象便产生了。3) 存在单双键或单叁键交替的脂肪烃。这类体系的共性就是有很强的共轭效应，所有的化学键键级和键能趋向于平均化，因而此时的碳碳单键已经向双键或叁键过渡，键能明显增加，键长明显变短，这类碳碳单键是很不容易发生断裂的，辐射波对此也不太具备选择性断键的能力。4) 芳香烃类。芳香烃的碳碳键不是简单的单双键交替式结构，而是形成了离域大 π 键，因此也异常相对稳定，在外界辐射波的作用下不会发生碳碳键的选择性断裂(如图 1 和图 2 所示)。

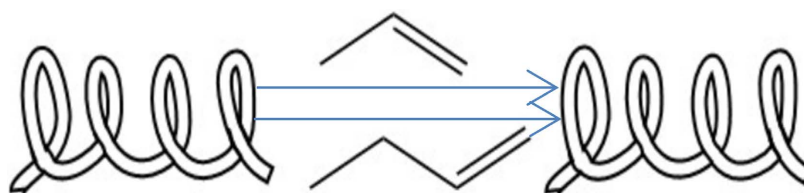


Figure 1. The principle of radio wave catalysis
图 1. 无线电波催化原理

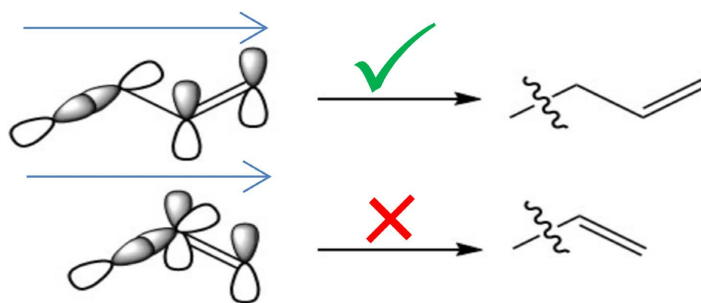


Figure 2. The principle of catalytic carbon-carbon bond breaking
图 2. 催化碳 - 碳键断裂原理

根据以上得到的结论，我们已经知道了无线电波包括微波对有机物碳碳键骨架的选择性断键大概率会发生在 sp^3 杂化的碳碳单键上；相关专利也验证了我们的这一推断。首先，对小分子饱和烷烃的选择性断键的研究，发现如下现象：1) 对于丙烷分子，微波共振裂解将断裂两根相同环境下的碳碳单键的任意一根，形成乙烯分子和甲烷分子。2) 对于正丁烷分子，断键方式就比较多样化了，具体有如下形式：

由于正丁烷的骨架为 C-C-C-C，由于正丁烷本身的骨架具有对称性，可将碳碳单键分为两类：两边的碳碳单键为一类，中间的碳碳单键为一类。根据诱导效应，两端的甲基是推电子基团，因此中间的那根碳碳单键相较于两端的碳碳单键，电子云密度更高，键长更短，键能更高。因此只会两头的碳碳单键发生选择性断裂。如果断裂其中一根，则会生成丙烯和甲烷；如果两根都断，则会生成乙烯，而两个甲基自由基重新结合生成乙烷。3) 对于异丁烷分子，同样的道理，由于三个碳碳单键完全对称，所处的化学环境完全相同，所以断裂其中一根碳碳单键则会生成丙烯和甲烷。

此外，值得注意的是，有相关研究成果[16]中使用了吸波材料，如活性炭、碳化硅、氧化锌等作为吸收和聚集微波的载体，但它们的作用不是必需的，也就意味着没有这些载体，微波也能共振裂解有机物发生选择性断键，而使用这些吸波材料一方面能使得微波的耗散得以减低，同时可以大大提升微波吸收的效率；另一方面，这些多孔材料也有助于吸附这些有机物小分子，更有助于它们在吸波材料的表面发生裂解反应；另外，由于吸波材料的颜色都是黑色的，而黑色恰恰是能够吸收所有波长可见光的颜色，相比于黑色，白色反射所有的可见光。也正是由于一些物质能反射和散射一些波长的可见光，我们才得以看见这些物质，并用人眼捕捉和感知到它们的颜色。吸波材料将电磁波吸收后，由于其非线性光学效应，入射电磁波的频率得到了提升，例如和频、倍频效应使得原本电磁波的频率得以放大，进而提升微波对有机物的共振效应能量作用，使得碳碳单键更容易发生选择性断裂。另外，考虑到吸波材料中也分别有相应的碳碳键和碳硅键，并且活性炭中的碳碳键大多为碳碳双键，微波只对碳碳单键的作用比较明显，只会由于其能量的高低选择性断裂碳碳单键，因此并不用考虑活性炭中碳碳键因微波共振作用而断键的现象。同样地，由于碳化硅是原子晶体，它的分子是类似于金刚石分子的四面体结构，这种 sp^3 杂化的碳(硅)碳单键与一般分子晶体的碳碳单键有所不同，它们的键能很大非常稳定，很难发生断裂，所以即便在微波作用下也难以发生相应化学键的共振断键。

4. 总结与展望

特斯拉虽然已去世近一个多世纪，但他的诸多思想，发明以及设想其实早已经潜移默化地改变了我们的世界，并将在百年内继续影响着世界科技的进步与发展。而无线电能催化原理和技术恰恰是将特斯拉的最伟大设想——无线电能传输与化学反应的一次完美融合。将无线电能传输所产生的微波用于辐射和共振有机高聚物，并使得它发生选择性断裂碳碳单键，裂解生成一系列小分子有机物，这种技术如果应用在生物和农业领域上，将会产生非常重要的应用价值。因为生物的基本单位是细胞，它是由蛋白质、核酸、碳脂质等生物大分子组成的生命系统。当受到特定频率的波影响时，如果某些分子化学键的固有频率与之相近，将会产生频率协同作用，使化学键产生断裂，形成自由基，一方面自由基的活性很强，可以对一些生物组织造成破坏；另一方面，自由基重新组合，导致生物大分子微观结构的变化，细胞结构随之产生相应改变，生命系统自然会发生不同的变化。其中微波促进植物生长仪便是利用了谐振波频率与植物的频率相一致的原理，引起植物内各种物质分子化学键产生断裂形成自由基，加快细胞分裂速度、增强其生理活性、提高光合作用能力。另外，农药和化肥的合成和使用，都是以应用质量为本因素，无论是生产还是应用都会带来环境污染。绿色农药仅仅是可以降解，总重并没消失。无线电能催化的关键原理——频率协同作用理论提供一种新的科学研究思路：频率协同作用可以引起化学键的断裂，化学键断裂使分子产生一定的变化，从而引起物质或生命的局部改变，如果这种方法在农业上得以应用，就可以大大减少农药和化肥的使用量，从而减少对环境所带来的污染；此外用特定频率杀虫、杀鼠、除草、调节植物生长等方式方法也有所报道[17][18][19]。由于波无处不在，即清洁又方便，而且不会带来质量的变化，甚至没有化学污染，因此它属于一种清洁开发能源的方式。此外，由于光、电、磁、声音和音乐等物理性能量事实上都是频率的影响，那么频率可以使化学键断裂，波的协同共振就能引起物质

内部分子结构的变化, 通过自身微观结构的变化从而达到死亡、改性、分子重组、性能改变等作用。因而波对物质的作用将随着人们的认知深入和继续开发得到更广泛的利用。综上所述, 无线电能催化在未来有巨大的研究价值和生产应用, 而它其中的理论细节则有待于进一步的探究, 并有望于得到突破。

参考文献

- [1] Lomas, R. (1999) *The Man Who Invented the Twentieth Century: Nikola Tesla, Forgotten Genius of Electricity*. Headline, London.
- [2] Jelenković, V. (2010) Towards a Definitive Catalogue of the Patents of Nikola Tesla. *World Patent Information*, **32**, 147-149. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2009.07.005>
- [3] Stevanovic, V.D., Ilic, M., Djurovic, Z., Wala, T., *et al.* (2018) Primary Control Reserve of Electric Power by Feedwater Flow Rate Change through an Additional Economizer—A Case Study of the Thermal Power Plant “Nikola Tesla B”. *Energy*, **147**, 782-798. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.102>
- [4] Tesla, N. (2010) Experiments with Alternate Currents of High Potential and High Frequency. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, **21**, 51-162. <https://doi.org/10.1049/jiee-1.1892.0002>
- [5] Tesla, N. (1904) Experiments with Alternate Currents of High Potential and High Frequency: A Lecture Delivered before the Institution of Electrical Engineers, London. McGraw Hill, New York.
- [6] Shaw, D., Liu, F.T. and Yu, J.J. (2013) Experiment of a Tesla Engine for Wind Energy Capture. *Applied Mechanics and Materials*, **284-287**, 1051-1056. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.284-287.1051>
- [7] Marincic, A.S. (1982) Nikola Tesla and the Wireless Transmission of Energy. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, **10**, 4064-4068. <https://doi.org/10.1109/TPAS.1982.317084>
- [8] Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J.D. and Soljacic, M. (2017) Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. *Science*, **317**, 83-86. <https://doi.org/10.1126/science.1143254>
- [9] Chen, C.J., *et al.* (2010) A Study of Loosely Coupled Coils for Wireless Power Transfer. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, **57**, 536-540. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2010.2048403>
- [10] Chen, L.H., Liu, S., Zhou, Y.C. and Cui, T.J. (2011) An Optimizable Circuit Structure for High-Efficiency Wireless Power Transfer. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **60**, 339-349. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2179275>
- [11] Li, S.Q. and Mi, C.C. (2014) Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, **3**, 4-17. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2014.2319453>
- [12] Zhang, W. and Mi, C.C. (2015) Compensation Topologies of High-Power Wireless Power Transfer Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **65**, 4768-4778. <https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2454292>
- [13] Kappe, C.O. and Dallinger, D. (2006) The Impact of Microwave Synthesis on Drug Discovery. *Nature Reviews Drug Discovery*, **5**, 51-63. <https://doi.org/10.1038/nrd1926>
- [14] Macquarrie, D.J., Clark, J.H. and Fitzpatrick, E. (2012) The Microwave Pyrolysis of Biomass. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, **6**, 549-560. <https://doi.org/10.1002/bbb.1344>
- [15] Venderbosch, R.H. and Prins, W. (2010) Fast Pyrolysis Technology Development. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, **4**, 178-208.
- [16] Lam, S.S. (2017) Activated Carbon for Catalyst Support from Microwave Pyrolysis of Orange Peel. *Waste and Biomass Valorization*, **8**, 2109-2119. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9804-x>
- [17] Pereira, R.M., Neto, D.A., Amado, D., Durigan, M.R., Omoto, C., *et al.* (2020) Baseline Susceptibility and Frequency of Resistance to Diamide Insecticides in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) Populations in Brazil. *Crop Protection*, **137**, Article ID: 105266. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105266>
- [18] Jaiswal, D., *et al.* (2021) Untangling the UV-B Radiation-Induced Transcriptional Network Regulating Plant Morphogenesis and Secondary Metabolite Production. *Environmental and Experimental Botany*, **192**, Article ID: 104655. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104655>
- [19] Yin, P.F., Zhang, L.M., Tang, Y.T. and Liu, J.C. (2021) Earthworm-Like (Co/CoO)@C Composite Derived from MOF for Solving the Problem of Low-Frequency Microwave Radiation. *Journal of Alloys and Compounds*, **881**, Article ID: 160556. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.160556>