

## (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2016年9月1日 (01.09.2016)



(10) 国际公布号  
**WO 2016/134581 A1**

(51) 国际专利分类号:  
A61B 17/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2015/084678

(22) 国际申请日: 2015年7月21日 (21.07.2015)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:  
201510091561.1 2015年2月28日 (28.02.2015) CN

(71) 申请人: 西安交通大学 (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。

(72) 发明人: 陆明珠 (LU, Mingzhu); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。 万明习 (WAN, Mingxi); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。 关宇波 (GUAN, Yubo); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049

(CN)。 董腾驹 (DONG, Tengju); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。

(74) 代理人: 西安通大专利代理有限公司 (XI'AN TONG DA PATENT AGENCY CO., LTD.); 中国陕西省西安市咸宁西路28号, Shaanxi 710049 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,

[见续页]

(54) Title: DUAL-FREQUENCY CONFOCAL SUPERIMPOSED FOCUSED ULTRASONIC SPHERICAL SPLITTING ARRAY AND CONTROL METHOD FOR SPLITTING FOCUS POINTS

(54) 发明名称: 双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵及分裂焦点控制方法

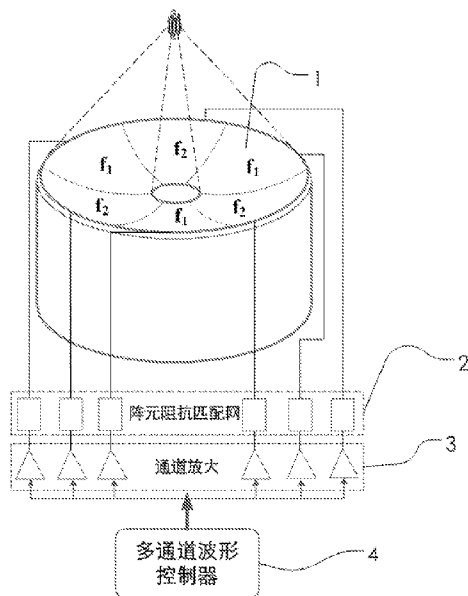


图 1 (a)

(57) Abstract: A dual-frequency confocal superimposed focused ultrasonic spherical splitting array and a control method for splitting focus points. The array comprises spherical confocal array elements, the number of which is even, wherein half of the array elements work at a low frequency, and the other half work at a high frequency, the low frequency and the high frequency both being MHz high frequencies; each array element is correspondingly driven by a frequency, and each array element wave beam does not superimpose outside the focal region; each array element is connected to a channel amplifier (3) via a respective impedance matcher (2), and a multi-channel waveform controller (4) is connected to the channel amplifier (3) to control the amplitude and the phase of each channel. A dual-frequency spherical sectorial splitting array can produce a plurality of splitting points of a focal plane under the dual-frequency, so that the volume of a focal region of a treatment is enlarged, meanwhile the strong interference of an instantaneous cavitation cluster at an adjacent focus point can also be controlled to obtain a high cavitation-to-heat conversion efficiency.

(57) 摘要:

[见续页]

2 Array element impedance matching network  
3 Channel amplifier  
4 Multichannel waveform controller



BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

**本国际公布:**

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵及分裂焦点控制方法, 包括球面共焦阵元, 球面共焦阵元的阵元数为偶数; 其中一半阵元工作在低频, 另一半阵元工作在高频, 所述低频和高频均为 MHz 高频; 每一阵元对应一个频率驱动, 每一阵元波束在焦区外不重叠; 每一阵元通过一个对应的阻抗匹配 (2) 与一个通道放大器 (3) 连接, 多通道波形控制器 (4) 连接通道放大器 (3), 用于控制每一通道的幅度和相位。双倍频球面扇形分裂阵, 在双频下可产生焦平面的分裂多点, 从而扩大一次治疗的焦区体积, 同时也可控制相邻焦点处的瞬态空化群的强干涉获得好的空化转热效率。

## 双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵及分裂焦点控制方法

## 【技术领域】

5 本发明属于医学聚焦超声技术领域，特别涉及一种双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵及分裂焦点控制方法。

## 【背景技术】

10 聚焦超声手术（Focused ultrasound surgery, FUS）是将超声能量聚焦在人体深部目标组织，以达到精确选定损伤的目标组织而丝毫不伤害临近正常组织的治疗方式，目前主要用于肿瘤和深部组织的非侵入性治疗。而高强度聚焦超声 HIFU（High intensity focused ultrasound）分为主要利用超声热机制的组织热损伤治疗（Thermal ablation）和利用空化 cavitation 的局部机械力作用的组织损毁（Histotripsy）治疗两类。

15 现有的 HIFU 热损伤作用机制主要还是热机制，对于有效利用空化产热机制还是目前研究的课题；一般 HIFU 治疗采用单频（0.5MHz-10MHz）。由于肿瘤的尺寸较大，一般达数  $\text{cm}^3$ ；而 HIFU 单焦点仅几个  $\text{mm}^3$ ，单次超声辐照尺寸仅米粒大，因而治疗一个几  $\text{cm}^3$  的肿瘤需数百次以上的辐照时间（几个小时），治疗时间长。因而如何提高治疗效率、缩短治疗时间是要解决的关键问题。解决的方式有空间扩大焦区尺寸即采用相控阵同时多焦点的形式和时间上采用空化增效机制方式。关于空化增效，先前有用双频即一个较低 kHz 频率和一个较高 MHz 频率共同作用；较低 kHz 频率的空化阈值较低易产生空化，而较高 MHz 频率产热效率高。

20 为了获得大的声强增益，一般采用具有几何形状的球冠(凹球面)作为相控阵治疗换能器的外形，阵元排布在球面上；阵元的形式有环形、园形、矩形、扇形和扇蜗形等形式，其中环形、矩形、扇形和扇蜗形为紧密排布方式。目前，治疗换能器的探头尺寸一般较大，直径约在 3-20cm 之间，为的是获得大的声强增益；然而对相控阵换能器要在一定区域扫描不产生栅瓣，相控阵换能器阵元尺寸要小，这样阵元数往往会大于 128 阵元，如 128、256、1024、2048 阵元等，而驱动通道数也会大于 128 通道，因此驱动器的结构和控制是十分复杂的。现有的 HIFU 相控阵技术均为单频驱动方式。授权的美国专利 4, 865, 042，发明人 Umemura，发明名称为“Ultrasonic irradiation system”是较早于 1989 年披露了球冠相控阵换能器，也就是球面环形相控阵和球面扇蜗形相控阵；其控制驱动方式能够产生焦平面的环形分布的多焦点，而驱动方法单频只做相位控制，而各阵元的幅度保持一样。在相控阵聚焦方法方面有以色列 InSightec-TxSonics, Ltd.公司申请的美国专利文献 US 6, 613, 004B1，专利名称“System and

method for creating longer necrosed volumes using a phased array focused ultrasound”, 相应的中国发明专利 01813606.0, 专利名称是“利用相控阵聚焦超声系统增加坏死体积的系统和方法”其中针对球面扇蜗形相控阵采用了全阵等幅和变迹的聚焦方式交替工作, 增大了的相控阵聚焦超声手术中组织损伤的治疗体积, 克服了仅用变迹所生成的组织损伤体积易造成焦前区过热现象。该公司另一发明专利 US 6, 503, 171B1, 专利名称 “System and method for controlling distribution of acoustic energy around a focal point using a focused ultrasound system”, 采用扇形阵只控制相位产生焦平面上的环形多焦点。国内相控阵的发明专利情况为: 上海交通大学申请的中国发明专利申请第 2007100451792 号、专利名称为“相控阵聚焦超声多模式热场形成方法”和发明专利 ZL200610023637.8、专利名称为“相控阵聚焦超声的大焦域形成方法”; 两发明专利中披露了采用圆形 108 阵元安装于球冠面的相控阵, 工作方式采用旋转交替焦点方式来均匀加热和增加热场治疗体积, 焦点的控制是采用矩阵伪逆和热场代价函数优化。陈亚珠等 2006 年公开的发明专利, 申请号: 2005101111028.3 “加热深部肿瘤病灶的大焦域相控聚焦系统”中披露相控阵系统通道相位和幅度控制方法和系统构造。中国科学院申请的发明专利 ZL200610114747.5, 专利名称为“一种相控聚焦超声波源装置”中披露了采用圆形阵元安装于球冠中的相控阵阵元结构。西安交通大学的发明专利 ZL200510096069.x、专利名称为“球面相控阵聚焦超声换能器的声场焦点模式驱动控制方法”, 其中披露了球面矩形阵元相控阵的声场计算并结合多焦点的遗传算法优化的模式控制方法进行 3 维多焦点的控制; 另一发明专利 ZL200910024284.7、专利名称为“聚焦超声治疗组合阵元相控阵及多焦点剪切波成像系统”, 其中采用球面矩形阵元的组合阵元结构, 在阵元总面积相同的情况下减少了驱动通道数同时扩大了多焦点无栅瓣的聚焦区域和多焦点扫描范围。

最近中国发明专利申请号 CN201410456237.0, 专利名称“基于双频共焦超声分时激励的超声力学毁损和热凝固装置及方法”, 其中用双频焦超声, 但分时工作, 主要针对相变液滴的增效作用。而中国发明专利公开第 CN 102793980A 号, 专利名称“双频聚焦超声系统”, 主要涉及小差频, 差频小于基础频率的 1% 的系统。Fatemi M, et. al., 曾发表文章题为 “Vibro-acoustic tissue mammography,” IEEE Trans. Medical Imaging, Vol.21, No.1, 2002:1-8 提及其换能器为球面 2 环形阵元, 方法主要涉及小差频, 差频小于基础频率的 2%, 而产生聚焦辐射力用于检测成像的激励, 此成像方法称为振动声成像。

### 【发明内容】

本发明的目的在于提供一种双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵及分裂焦点控制方法, 以

解决现有单频单焦点效率低和百阵元相控阵驱动控制过于复杂的问题。

为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，包括球面共焦阵元，球面共焦阵元的阵元数为偶数；其中一半阵元工作在低频，另一半阵元工作在高频，所述低频和高频均为 MHz 高频；每一阵元对应一个频率驱动，每一阵元波束在焦区外不重叠，仅在共焦区叠加；每一阵元通过一个对应的阻抗匹配与一个通道放大器连接，多通道波形控制器连接通道放大器，用于控制每一通道的幅度和相位。

优选的，所述 MHz 高频的频率范围为 1MHz~10MHz。

优选的，所述高频与低频的比值为正整数。

优选的，阵元数为 2~12。

优选的，所述球面共焦阵元为球面扇形阵、球面矩形阵、球面环形阵或球面扇蜗形阵。

优选的，阵元的幅度相位控制方法：

设阵元宽度为  $\Delta w$ ，阵元高度为  $\Delta h$ ，面积  $\Delta A$ ，xyz 坐标系的建立为原点在球冠的顶点，波束方向为 z 轴；从瑞利索莫费尔积分(Reyleigh-Sommerfeld integral)推得第 m 个阵元的球

声压  $p_m$  由 N 个小矩形叠加的简洁计算公式：

$$p_m = \frac{j\rho ck}{2\pi} u_m \sum_{n=1}^N \frac{F_n \Delta A}{R_n} e^{-(\alpha + jk)R_n} \sin c \frac{kx_{sn} \Delta w}{2R} \sin c \frac{ky_{sn} \Delta h}{2R}. \quad (1)$$

将每一阵元 m 划分成 N 个投影面积相同且充分小的方形，一般边长小于一个波长，然后用 (1) 式计算得到焦平面各点声压；

式 (1) 中复数声压  $P_m(x, y, z)$ ， $j = \sqrt{-1}$ ， $\rho$  和  $c$  分别是介质的密度和声速， $k = \omega/c$

是波数， $u_m$  是第 m 个阵元表面质点速度作为阵元驱动信号；其中各参数的计算为：

其中各参数的计算为：

$$R_n = \sqrt{(z - z_n)^2 + (y - y_n)^2 + (x - x_n)^2} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{z^2 + (y - y_n)^2 + (x - x_n)^2} \quad (3)$$

$$R_{pp}^2 = R_{sp}^2 - (x_n^2 + y_n^2) \quad (4)$$

$$R_n = R + \frac{1}{R} (R_{sp}^2 - zR_{sp} + z)R_{pp} - \frac{x_n^2 + y_n^2}{2} \quad (5)$$

$$x_{sn} = x - \frac{z - R_{SP}}{R_{PP}} x_n \quad (6)$$

$$y_{sn} = y - \frac{z - R_{SP}}{R_{PP}} y_n \quad (7)。$$

优选的，所述双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵的焦区声压负峰值大于空化阈值。

双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵的分裂焦点控制方法，具体包括：所述球面共焦阵元  
5 为球面扇形阵元或球面矩形阵元；在双倍频和相位控制下，产生可以扩大径向焦区尺寸的焦平面分裂多焦点，焦区比单焦点大；在双 2 倍频率时，控制焦区声压超过空化阈值，相邻阵元低频和高频相位为  $135^\circ$ ，焦点处双频负峰相遇，焦点叠加负声压峰值最大，有更多的空化产生，空化活动加强；相邻阵元反相位驱动使焦点处空化群强干涉。

双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵的分裂焦点控制方法，具体包括：所述球面共焦阵元  
10 为球面环形阵，具体包括：双倍频工作，控制高频声功率与低频声功率之比，使焦区声轴方向产生若干分裂焦点，双频叠加的焦点声强峰值大于双频声强之和；或者 3 倍频工作，控制高频声功率与低频声功率之比和相位为  $60^\circ$  时，得到最大的叠加波正峰值和负峰值。

相对于现有技术，本发明具有以下有益效果：

本发明给出了双倍频球面扇形分裂阵，在双频下可产生焦平面的分裂多点，从而扩大一次  
15 治疗的焦区体积，同时也可控制相邻焦点处的瞬态空化群的强干涉获得好的空化转热效率。本发明还可控制双倍频球面环阵，通过控制双频的声功率幅度比使焦区声波强干涉形成声轴上焦区的分裂焦点的高的声强峰值有利于空化增强效果。 $60^\circ$  相位的双 3 倍频球面环阵能获得最佳共焦区空化增热效率。

本发明意在设计出双倍频球面扇形阵元和球面矩形阵元、产生双倍频同时作用的分裂焦  
20 点，即增加焦区体积同时增强焦区瞬态空化作用显著提高 HIFU 治疗效率；通过相位控制使增加焦区空化数量和使瞬态空化的空化群间产生干涉增加热产效率。本发明意在设计出球面环阵，仅需调节双频驱动声功率幅度比即可得到焦区内轴向分裂焦点和最大化焦点声强峰值（双频叠加的声强峰值大于双频声强之和，接近 2 倍的双频声强之和），通过相位控制使瞬态空化的空化群间产生干涉增加热产效率；设计球面扇形阵，可同时产生焦平面和轴向分裂焦点。

## 25 【附图说明】

图 1(a)为双频共焦球面扇形分裂阵及系统示意图，图 1(b)和图 1(c)为图 1(a)球面扇形分裂阵在焦平面产生的分裂焦点的焦平面声强图和焦平面声强等高图。

图 2 (a) 和图 2 (b) 为两种阵元频率排布的双频共焦球面矩形分裂阵示意图。

图 3 为双频共焦球面环形阵示意图。

图 4 (a) 和图 4 (b) 为两种阵元频率排布的双频共焦球面扇蜗形阵示意图。

图 5 为双频共焦分裂阵增强焦区空化机制的控制与检测系统示意图。

5 图 6 为双频为 2 倍频关系相位为反相 ( $180^\circ$ ) 的波形及叠加波形。

图 7 (a) 为双频为 2 倍频关系用球面 4 扇形分裂阵, 在  $180^\circ$  相位控制时产生的 4 分裂焦点的焦平面声强图, 图 7 (b) 为焦平面声强等高图;

图 8 为双频为 2 倍频关系相位为  $135^\circ$  的波形及叠加波形。

10 图 9 (a) 为双频为 2 倍频关系用球面 4 扇形分裂阵, 在  $135^\circ$  相位控制时产生的 2 分裂焦点的焦平面声强, 图 9 (b) 为焦平面声强等高图。

图 10 为双频为 2 倍频关系用球面 2 环形阵,  $f_2$  与  $f_1$  的驱动功率幅度之比为 0.4 产生的声轴方向的声强分布图; 焦区两频率波强干涉产生约 9 个轴向分裂焦点, 叠加声强峰值是两频率声强和的约 2 倍。

15 图 11 (a) 为双频为 2 倍频关系用球面 2 环形阵,  $f_2$  与  $f_1$  的驱动功率幅度之比为 0.4 产生的焦平面声强图, 图 11 (b) 为 x-z 声强等高图, 焦区两频率波强干涉产生约 9 个轴向分裂焦点。

图 12 (a) 为双频为 3 倍频关系相位为  $60^\circ$  的波形及叠加波形, 图 12 (b) 为双频为 3 倍频关系相位为  $0^\circ$  的波形及叠加波形。

20 图 13 为双频为 3 倍频关系用球面 2 环形阵,  $f_2$  与  $f_1$  的驱动幅度之比为 0.28 产生的声轴方向的声强分布图; 焦区两频率波强干涉产生约 13 个轴向分裂焦点, 叠加声强峰值是两频率声强和的约 2 倍。

图 14 (a) 为双频为 3 倍频关系用球面 2 环形阵,  $f_2$  与  $f_1$  的驱动功率幅度之比为 0.28 产生的焦平面声强图; 图 14 (b) 为 x-z 声强等高图, 焦区两频率波强干涉产生约 13 个轴向分裂焦点。

25 图 15 为双频为 2 倍频关系用球面 4 扇形分裂阵, 在  $180^\circ$  和  $135^\circ$  相位控制条件产生的在透明仿体 (含牛血清蛋白 BSA) 中焦点损伤的实验结果图, 用视频和高速摄影及被动空化 PCD 检测 (见图 16); 其中, (a),(b),(c) 为  $180^\circ$  相位控制的结果, (a),(b) 是视频图, (c) 是高速摄像图; (d),(e),(f) 为  $135^\circ$  相位控制的结果, (d),(e) 是视频图, (f) 是高速摄像图。

图 16 为双频为 2 倍频关系用球面 4 扇形分裂阵, 在  $180^\circ$  和  $135^\circ$  相位控制条件产生的在透明仿体 (含牛血清蛋白 BSA) 焦点损伤的被动空化 PCD 检测图, 经过类梳状滤波, 滤除谐波的宽带信号的均方值反映了焦区瞬态空化 (惯性空化) 的能量。

图 17 为双频为 2 倍频和用球面 2 环形阵，在透明仿体（含牛血清蛋白 BSA）中的焦点损伤的实验结果图；其中，(a)双频为 2 倍频在  $135^\circ$  相位， $f_2$  与  $f_1$  的驱动声功率幅度之比  $APf_2/APf_1=0.371$  控制产生的视频结果图；双频为 3 倍频关系：相同的球面 2 环形阵结构参数， $f_2$  与  $f_1$  的驱动功率幅度之比  $APf_2/APf_1=0.28$ ；(b)为  $0^\circ$  相位控制的结果，(c)为  $60^\circ$  相位控制的结果。

### 【具体实施方式】

请参阅图 1 (a) 至图 5 所示，本发明一种双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，包括球面共焦阵元，阵元数为偶数（2~12）；其中一半阵元工作在低频，另一半阵元工作在高频，双倍频均为 MHz 高频（1MHz~10MHz）；每一阵元对应一个频率驱动，每一阵元波束在焦区外不重叠，仅在共焦区叠加；每一阵元通过一个对应的阻抗匹配 2 与一个通道放大器 3 连接，多通道波形控制器 4 连接通道放大器 3，用于控制每一通道的幅度和相位。

球面共焦阵元可以为：球面扇形阵 1（图 1 (a)）、球面矩形阵 5、6（图 2 (a)、图 2 (b)）、球面环形阵 7（图 3）和球面扇蜗形阵 8、9（图 4 (a)、图 4 (b)）。

阵元的幅度相位控制方法：

设阵元宽度为  $\Delta w$ ，阵元高度为  $\Delta h$ ，面积  $\Delta A$ ，xyz 坐标系的建立为原点在球冠的顶点，波束方向为 z 轴；从瑞利索莫费尔积分(Reyleigh-Sommerfeld integral)推得第 m 个阵元的球面矩形声压  $p_m$  计算公式：

$$p_m = \frac{j\rho ck}{2\pi} u_m \sum_{n=1}^N \frac{F_n \Delta A}{R_n} e^{-(a+jk)R_n} \sin c \frac{kx_{sn} \Delta w}{2R} \sin c \frac{ky_{sn} \Delta h}{2R}. \quad (1)$$

将每一阵元 m 划分成 N 个投影面积相同且充分小的方形，然后用 (1) 式计算得到焦平面各点声压；

式 (1) 中复数声压  $P_m(x, y, z)$ ， $j = \sqrt{-1}$ ， $\rho$  和  $c$  分别是介质的密度和声速， $k = \omega/c$  是波数， $u_m$  是第 m 个阵元表面质点速度作为阵元驱动信号；其中各参数的计算为：

其中各参数的计算为：

$$R_n = \sqrt{(z - z_n)^2 + (y - y_n)^2 + (x - x_n)^2} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{z^2 + (y - y_n)^2 + (x - x_n)^2} \quad (3)$$

$$R_{pp}^2 = R_{sp}^2 - (x_n^2 + y_n^2) \quad (4)$$

$$R_n = R + \frac{1}{R}(R_{SP}^2 - zR_{SP} + z)R_{PP} - \frac{x_n^2 + y_n^2}{2} \quad (5)$$

$$x_{sn} = x - \frac{z - R_{SP}}{R_{PP}} x_n \quad (6)$$

$$y_{sn} = y - \frac{z - R_{SP}}{R_{PP}} y_n \quad (7)$$

双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵的分裂焦点控制方法具体为：

- 5        1、对于球面扇形阵元 1：阵元数为偶数（2~12），双倍频均为 MHz 高频（1MHz~10MHz）；  
每阵元频率见图 1（a）频率不同的两种阵元间隔排布；也可一半（左半）阵元频率为  $f_2$ ，另一半为  $f_1$ ； $f_2/f_1=n$ ， $n=2,3\dots$  整数。

图 1（a）中所示为 6 阵元，在双倍频和相位控制条件下，6 阵元产生焦平面 6 个分裂焦点，  
使多焦点在径向分布的尺寸扩大，这样治疗时焦区可比单焦点大 8 倍。

10        一般使得焦区声压负峰值大于空化阈值，从公式（1）的计算仿真图 1（b）可得知。在 2  
倍频情况下，如果相邻阵元反相控制，则焦平面相邻焦点峰点反相振动，相邻焦点相距一个波  
长，若空化群在此二焦点位置，一处为正峰值空化闭合（坍塌），另一处负峰值空化拉伸达最  
大尺寸，上个振动周期闭合（坍塌）的空化发射的宽带信号到达此最大尺寸空化，所以吸收发  
热效率最大，这就是一种空化群强干涉。

- 15        超声空化特别是瞬态空化（Inertial cavitation 惯性空化）的作用使产生热损伤的效率比没有  
空化作用的高出至少 6 倍。本发明就是要最好地利用超声空化的这种机制达到高效精细治疗  
的目的。本发明首先提出共焦双倍频超声在焦区同时作用叠加，双频都为 MHz 的高频且成整  
数倍关系，如 1MHz 和 2MHz 或 1MHz 和 3MHz；双倍频适合连续波或串长超过 10 个波数的  
脉冲波。双倍频波在焦区的叠加会降低空化阈值，比低频波的空化阈值还要低同时强化瞬态空  
20        化和空化热吸收，如图 6 的双 2 倍频波，每个低频周期波峰值叠加增加，负波峰值也加大，同  
时速度加快，负波峰加大会有更多的空化产生。球面阵元能产生共焦控制，在焦区外阵元波束  
不重叠，仅在焦点区阵元波束叠加加强；所以我们双频共焦会选用球面扇形、矩形、环形和扇  
蜗形的紧密阵元排布方式的阵元阵能器。在单频时，球面扇形阵会产生分开的环形多焦点，

每个阵元聚焦对应一个焦点，所以也称其为分裂焦点和分裂阵；而这种多焦点同 128 阵元或 256 阵元相控阵产生的多焦点增加焦区体积一样，但仅需控制几个球面扇形阵的相位就可达到分裂焦点扩大聚焦区体积的目的。

2、对于球面矩形阵（5、6）：见图 2（a）和（b）所示，所有特征和控制与球面扇形阵一样。

3、对于球面环形阵 7：见图 3 所示，阵元数为 2；在一定的两个倍频频率的声功率幅度比情况下，焦区声轴方向产生若干分裂焦点，双频叠加的焦点声强峰值大于双频声强之和，接近于 2 倍的双频声强之和，预示双频声波的强干涉。

球面环形阵 7 的声轴方向的声压可用瑞利索莫费尔积分(Reyleigh-Sommerfeld integral)

得到精确的轴向声压解析式，推导出声压的精确解析式，每一环的轴向声压计算公式为：

$$P(z) = \begin{cases} j\rho ckR_{SR}u \frac{e^{-(\alpha+jk)\sqrt{(z-R_{SR}+\sqrt{R_{SR}^2-R_2^2})^2+R_2^2}} - e^{-(\alpha+jk)\sqrt{(z-R_{SR}+\sqrt{R_{SR}^2-R_1^2})^2+R_1^2}}}{(z-R_{SR})(\alpha+jk)} & \text{当 } z \neq R_{SR} \\ j\rho ck u (\sqrt{R_{SR}^2-R_1^2} - \sqrt{R_{SR}^2-R_2^2}) e^{-(\alpha+jk)R_{SR}} & \text{当 } z = R_{SR} \end{cases} \quad (2)$$

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c}$$

其中波数： $k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f}{c}$ ； $\alpha$  为衰减系数； $R_{SR}$  为每一环的曲率半径； $R_l$  为每一环的内孔半径， $R_2$  为每一环的外圈半径； $u$  为与阵元驱动声压成正比的阵元表面振动速度。

两个频率环的声压计算：先采用公式（2）计算每个频率环的声压，然后相加就得到球面环形阵 7 的轴向声压。

在一定的频率幅度比条件下，在两频率相位条件下能够得到若干焦点的强空化干涉。

4、对于球面扇蜗形阵（8、9），见图 4（a）和图 4（b）所示，阵元数为偶数（4，8，12）；所有控制方法与球面扇形阵 1 相似；可产生像球面扇形阵元的焦平面分裂多焦点扩大焦区治疗体积，也可调节两倍频频率的声功率比值得到轴向分裂焦点的高声强值。

球面矩形阵、球面环形阵和球面扇蜗形阵的驱动控制与图 1(a)球面扇形阵的驱动控制结构相同。

具体实施几个分裂阵的双倍频分裂焦点模式的实验系统参见图 5；在透明组织仿体含牛血清蛋白（BSA）中的 HIFU 焦点模式的超声空化效应可用空化高速摄像机 15 和 PCD 或超声成像设备 14 评价；主控计算机 13 负责分裂焦点模式控制和空化高速摄像机 15 以及 PCD（被动空化检测）14；主控计算机 13 将双频分裂焦点模式的相位和幅度信息发送给通道功率放大及控制单元 12 将每一阵元所需的波形生成再通过阵元匹配网络 11 输送到分裂阵换能器 10 发送分裂焦点模式。

实施的分裂阵之一是球面 4 扇形阵（参见图 1(1)），双 2 倍频率， $f_1=1.2\text{MHz}$  和  $f_2=2.4\text{MHz}$ ，每阵元频率排布为一半（左半）阵元为  $f_1$ ，另一半为  $f_2$ （排布如图 2（5））。在相邻阵元反相工作（相位  $180^\circ$ ）时双 2 倍频叠加波形见图 6，叠加后正峰值增加，负波峰值也加大，同时速度加快，负波峰加大会有更多的空化产生；图 7 就是相邻阵元反相工作产生的 4 分裂焦点声强分布，证明双 2 倍频情况下也能产生 4 分裂焦点，同时依据此控制确保焦区声压超过空化阈值；焦平面相邻焦点处反相振动，相邻焦点相距一个波长，在瞬态空化发生条件下相邻焦点处空化群强干涉，可获得高效的瞬态空化热转换效率结果。还是相同的球面 4 扇形阵，相邻同频相位同相（ $0^\circ$ ），两个相邻 2 倍频阵元相位为低频  $135^\circ$ ，图 8 就是相邻 2 倍频阵元相位  $135^\circ$  的叠加波形，叠加后正波加宽峰值未增，两负波峰相遇，叠加负峰值最大，这种情况最有利于更多空化的发生；图 9 就是相邻同频相位同相（ $0^\circ$ ）和相邻 2 倍频阵元相位  $135^\circ$  条件产生的 2 分裂焦点声强分布。

实施的分裂阵之二是球面 2 环形阵（参见图 3(7)），双 2 倍频率， $f_1=1.1\text{MHz}$  和  $f_2=2.2\text{MHz}$ ；在这种环阵条件下，不会产生焦平面径向分裂焦点，共焦叠加结果，只能是焦区叠加；用精确的轴向声压的解析公式（2）可获得轴向声压叠加结果，图 10 是这一条件的轴向声压叠加结果，因为两频率焦区覆盖非常好，在焦区两波强干涉，在焦区叠加结果产生约 7 个分裂焦点，相邻焦点相距一个波长；产生分裂焦点不取决于两频率相位，只取决于高频声功率与低频声功率之比值，当这一比值为  $APf_2/APf_1=0.4$  时两波强干涉，这时双频叠加的焦点声强峰值大于双频声强之和，接近 2 倍的双频声强之和。此 2 倍频波形的叠加和扇形阵的图 6 和图 8 相似，也是相位  $135^\circ$  时，叠加负峰最大，空化产生最好；相位  $135^\circ$  时，有 2 个相邻焦点处反相振动，在瞬态空化发生条件下此 2 焦点处空化群强干涉；图 11 是此球面 2 环形阵的焦点声强分布，图 11（a）显示焦平面焦点声强分布，依此阵元声功率控制可确保实验时焦区声压超过空化阈值，图 11（b）示出轴向的 7 个分裂焦点。

实施的分裂阵之三是球面 2 环形阵（参见图 3(7)），双 3 倍频率， $f_1=1.1\text{MHz}$  和  $f_2=3.3\text{MHz}$ ；

在波形叠加方面，3 倍频有一相位波叠加最有利于空化增效，就是低频波相位为  $60^\circ$  时，两波正峰相遇，同时两波负峰也相遇，所以负峰和正峰都达最大，有利于空化的产生和坍塌，参见图 12 (a)；而低频波相位为  $0^\circ$  时，两波正峰和负峰相遇，峰值最小，参见 12 (b)。图 13 显示在  $APf_2/APf_1=0.28$  时两波强干涉，叠加产生约 13 个分裂焦点，相邻焦点相距半个波长；图 14 5 是此球面 2 环形阵双 3 倍频的焦点声强分布，图 14 (a) 显示焦平面焦点声强分布，依此声功率驱动可确保实验时焦区声压超过空化阈值，图 14 (b) 图显示出轴向的 13 个分裂焦点。

针对实施的分裂阵之一的球面 4 扇形分裂阵的双频为 2 倍频、 $180^\circ$  和  $135^\circ$  相位控制的实验结果，参见图 15；这是空化效果最好的两个分裂焦点模式； $180^\circ$  模式中在焦区的 4 个焦点处空化群强干涉可从图 15 (c) 看到形状，4 个焦点空化群并行向换能器方向迅速推进，并产生有效热损伤见图 15 (b)； (c) 和 (b) 两幅图形状相似，说明是空化有效的热产损伤。 $135^\circ$  10 模式中在焦区的 2 个焦点处有较大的空化区和空化群强干涉可从图 15 (f) 看到形状，2 个焦点空化群并行向换能器方向迅速突进，并产生有效热损伤见图 15 (c)；(f) 和 (c) 两幅图形状相似，说明空化有效热产的损伤；虽然  $135^\circ$  模式总声功率较小于  $180^\circ$  总声功率，为其 0.8 倍，但最终 10s 损伤尺寸几乎一样为  $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 11\text{mm}$ ，说明可能是  $135^\circ$  模式空化产生的更多和空化作用，这一组  $180^\circ$  和  $135^\circ$  相位控制的损伤实验还同时用被动空化 PCD 检测，其结果 15 显示于图 16 中；经过类梳状滤波，滤除谐波的宽带信号的均方值反映了焦区瞬态空化（惯性空化）的能量；图 16 中显示  $135^\circ$  相位控制惯性空化能量略高于  $180^\circ$  的惯性空化能量，因而证实  $135^\circ$  模式产生更多空化和空化作用更强些。

图 17 (a) 是球面 2 环形阵双 2 倍频率的实验结果；治疗参数为 2 倍频率  $f_1=1.1\text{MHz}$  和 20  $f_2=2.2\text{MHz}$ ， $135^\circ$  相位，低频声功率 70w，高频声功率 26w，治疗 10s；图示损伤尺寸为  $3\text{mm}\times 3\text{mm}\times 8.7\text{mm}$ ，由于焦区声轴上分裂焦点空化的作用产生损伤速度快，整体损伤像柱形，适合治疗规划时，焦点布置。

相同的球面 2 环形阵结构参数，图 17 (b) 和 (c) 是双 3 倍频率的实验结果；治疗参数为 3 倍频率  $f_1=1.1\text{MHz}$  和  $f_2=3.3\text{MHz}$ ， $60^\circ$  和  $0^\circ$  相位，低频声功率 70w，高频声功率 20w，治 25 疗 10s； $0^\circ$  相位的损伤示于 (b)，损伤尺寸为  $3.6\text{mm}\times 3.6\text{mm}\times 8\text{mm}$ ； $60^\circ$  相位的损伤示于 (c)，损伤尺寸为  $4.4\text{mm}\times 4.4\text{mm}\times 10.8\text{mm}$ ；3 倍频时虽然高频声功率小了 6w，但损伤尺寸比 2 倍频率的大， $0^\circ$  时 3 倍频损伤尺寸是 2 倍频的 1.3 倍， $60^\circ$  时 3 倍频损伤尺寸是 2 倍频的 2.6 倍，损伤增加的原因可能是高频的频率增加和更近的分裂焦点距离。 $60^\circ$  时 3 倍频损伤尺寸最大是因为两倍频峰值叠加使叠加正负峰值都达到最大，从而空化产生的更多和空化更强烈所至。

1、双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，其特征在于，包括球面共焦阵元，球面共焦阵元的阵元数为偶数；其中一半阵元工作在低频，另一半阵元工作在高频，所述低频和高频均为 MHz 高频；每一阵元对应一个频率驱动，每一阵元波束在焦区外不重叠，仅在共焦区叠加；每一阵元通过一个对应的阻抗匹配与一个通道放大器连接，多通道波形控制器连接通道放大器，用于控制每一通道的幅度和相位。

2、根据权利要求 1 所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，其特征在于，所述 MHz 高频的频率范围为 1MHz~10MHz。

3、根据权利要求 1 所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，其特征在于，所述高频与低频的比值为正整数。

4、根据权利要求 1 所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，其特征在于，阵元数为 2~12。

5、根据权利要求 1 所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，其特征在于，所述球面共焦阵元为球面扇形阵、球面矩形阵、球面环形阵或球面扇蜗形阵。

6、根据权利要求 1 所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，其特征在于，阵元的幅度相位控制方法：

设阵元宽度为  $\Delta w$ ，阵元高度为  $\Delta h$ ，面积  $\Delta A$ ，xyz 坐标系的建立为原点在球冠的顶点，波束方向为 z 轴；从瑞利索莫费尔德积分(Reyleigh-Sommerfeld integral)推得第 m 个阵元的声压  $p_m$  由 N 个小矩形叠加的简洁计算公式：

$$p_m = \frac{j\rho ck}{2\pi} u_m \sum_{n=1}^N \frac{F_n \Delta A}{R_n} e^{-(a+jk)R_n} \sin c \frac{kx_{sn} \Delta w}{2R} \sin c \frac{ky_{sn} \Delta h}{2R}. \quad (1)$$

将每一阵元 m 划分成 N 个投影面积相同且充分小的方形，然后用 (1) 式计算得到焦平面各点声压；

式 (1) 中复数声压  $P_m(x, y, z)$ ， $j = \sqrt{-1}$ ， $\rho$  和  $c$  分别是介质的密度和声速， $k = \omega/c$

是波数， $u_m$  是第  $m$  个阵元表面质点速度作为阵元驱动信号；其中各参数的计算为：

其中各参数的计算为：

$$R_n = \sqrt{(z - z_n)^2 + (y - y_n)^2 + (x - x_n)^2} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{z^2 + (y - y_n)^2 + (x - x_n)^2} \quad (3)$$

$$5 \quad R_{PP}^2 = R_{SP}^2 - (x_n^2 + y_n^2) \quad (4)$$

$$R_n = R + \frac{1}{R}(R_{SP}^2 - zR_{SP} + z)R_{PP} - \frac{x_n^2 + y_n^2}{2} \quad (5)$$

$$x_{sn} = x - \frac{z - R_{SP}}{R_{PP}} x_n \quad (6)$$

$$y_{sn} = y - \frac{z - R_{SP}}{R_{PP}} y_n \quad (7)。$$

7、根据权利要求 1 所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，其特征在于，所述双倍  
10 频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵的焦区声压负峰值大于空化阈值。

8、双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵的分裂焦点控制方法，其特征在于，基于权利要  
求 1 至 7 中任一项所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，具体包括：所述球面共焦阵元  
为球面扇形阵元或球面矩形阵元；在双倍频和相位控制下，产生可以扩大径向焦区尺寸的焦平  
面分裂多焦点，焦区比单焦点大；在双 2 倍频率时，控制焦区声压超过空化阈值，相邻阵元低  
15 频和高频相位为  $135^\circ$ ，焦点叠加负声压峰值最大，空化活动加强；相邻阵元反相位驱动使相  
邻焦点处空化群强干涉。

9、双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵的分裂焦点控制方法，其特征在于，基于权利要  
求 1 至 7 中任一项所述的双倍频共焦叠加聚焦超声球面分裂阵，具体包括：所述球面共焦阵元  
为球面环形阵，具体包括：双倍频工作，控制高频声功率与低频声功率之比，使焦区声轴方向  
20 产生若干分裂焦点，双频叠加的焦点声强峰值大于双频声强之和；或者 3 倍频工作，控制高频  
声功率与低频声功率之比和相位为  $60^\circ$  时，得到最大的叠加波正峰值和负峰值。

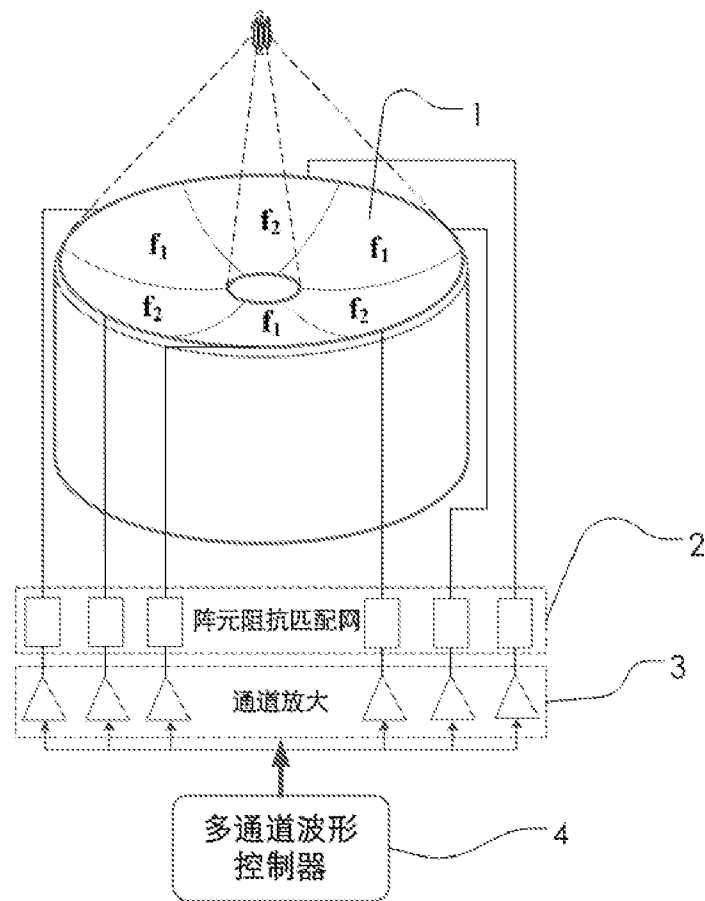


图 1 (a)

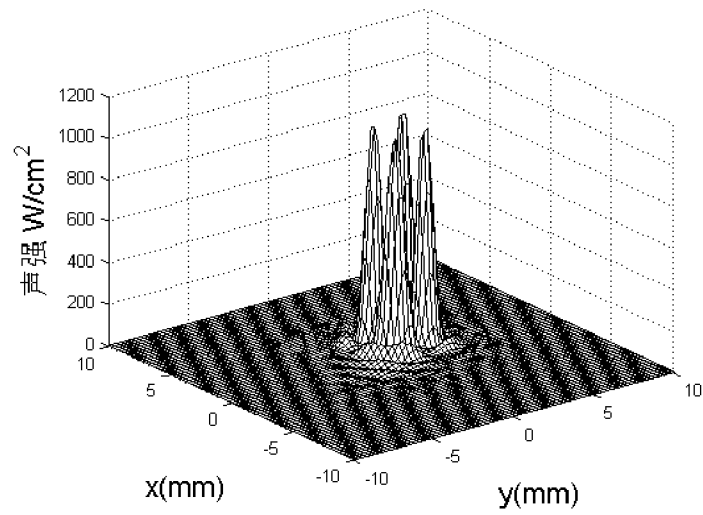


图 1 (b)

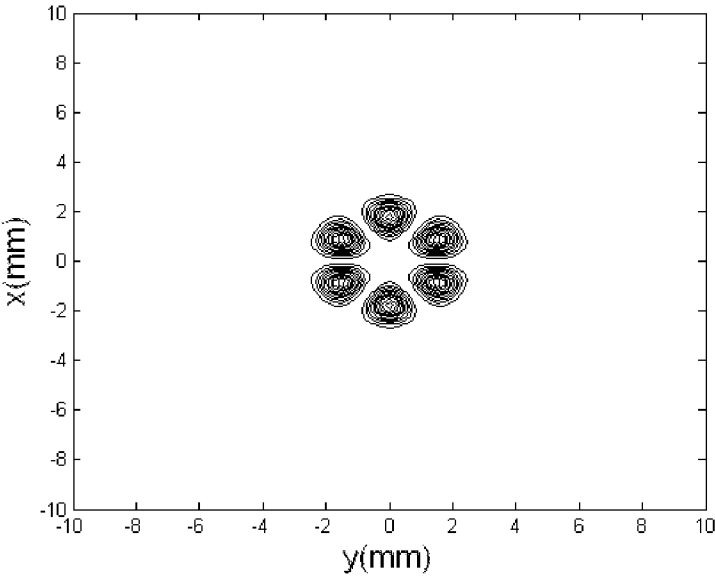


图 1 (c)

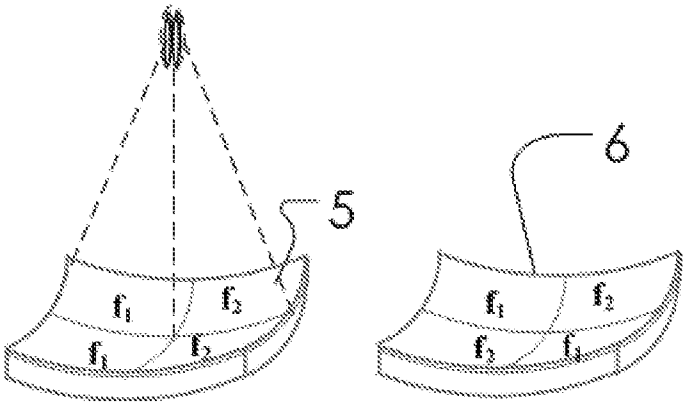


图 2 (a)

图 2 (b)

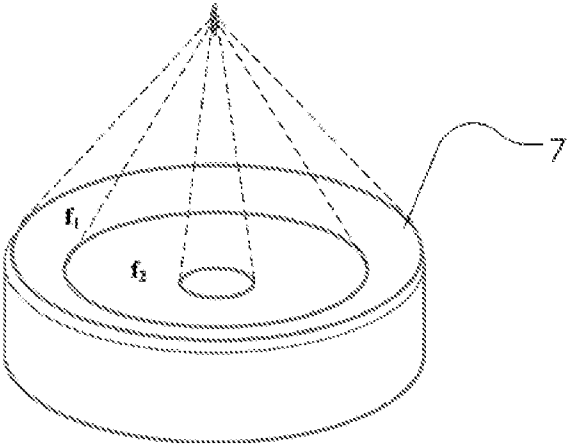


图 3

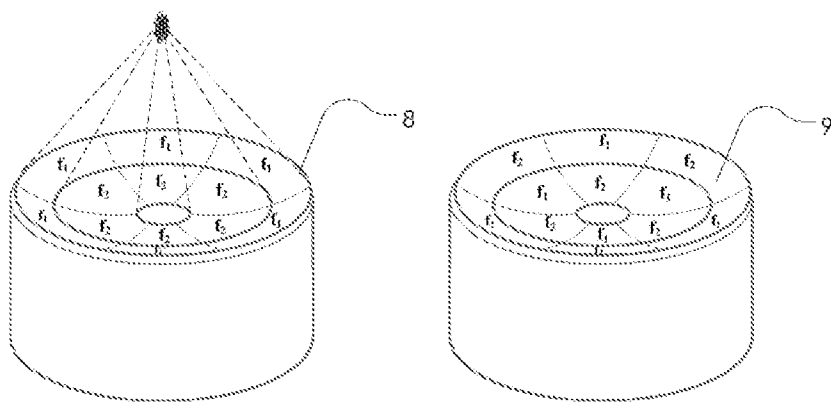


图 4 (a)

图 4 (b)

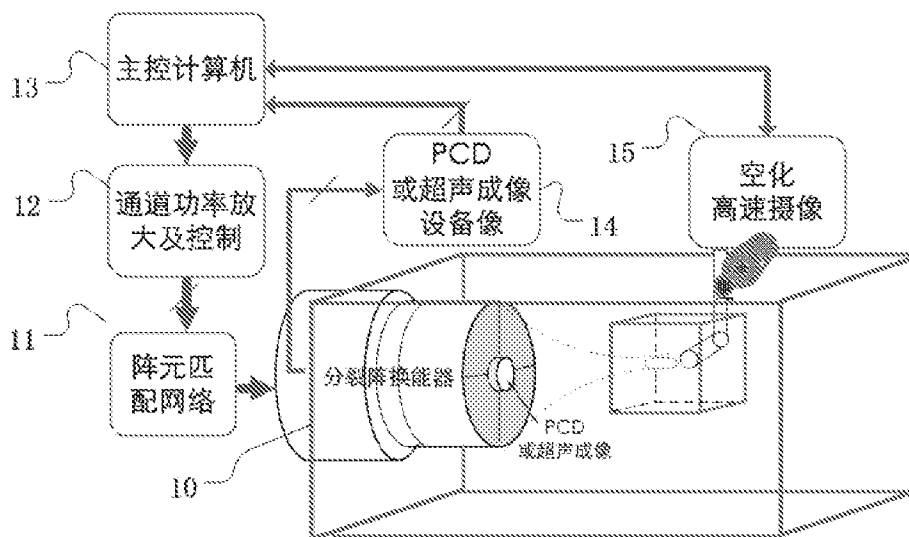


图 5

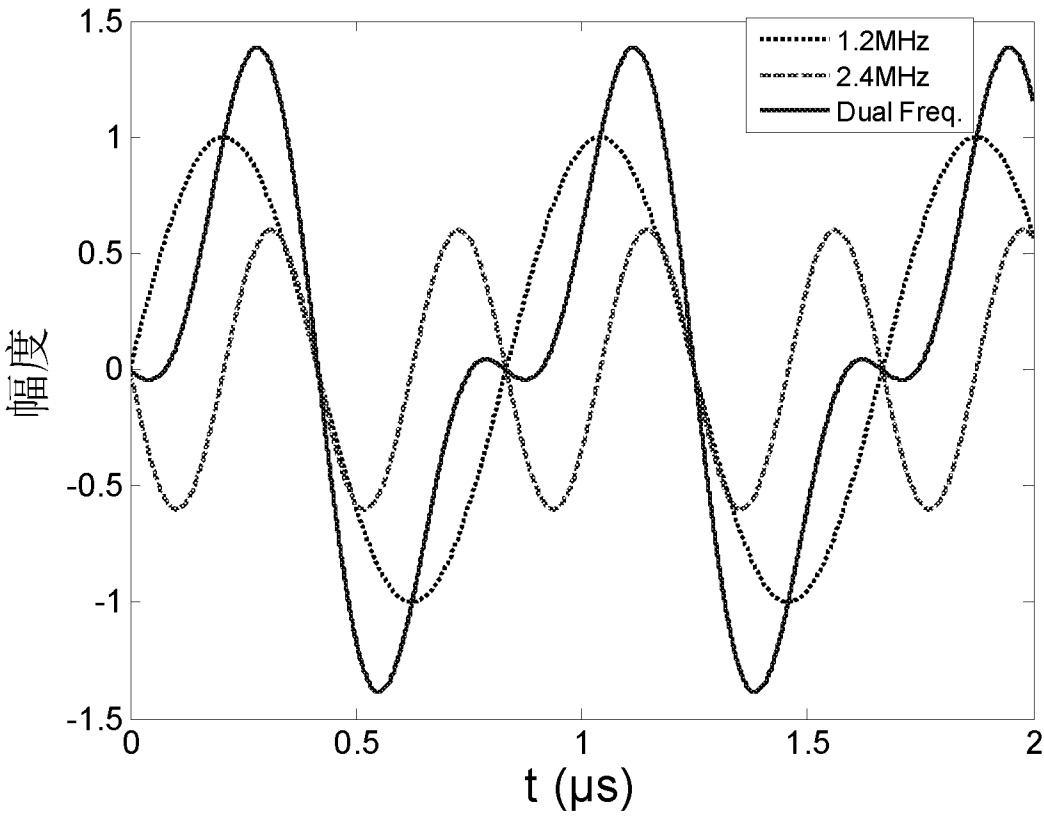


图 6

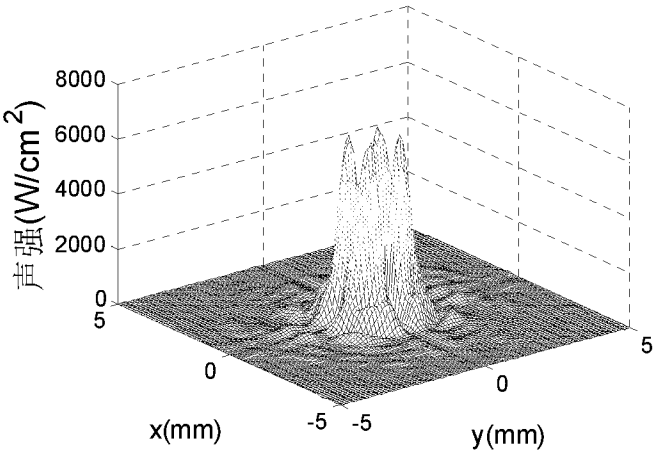


图 7 (a)

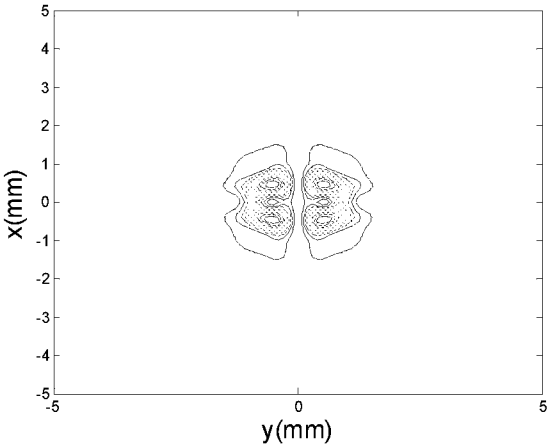


图 7 (b)

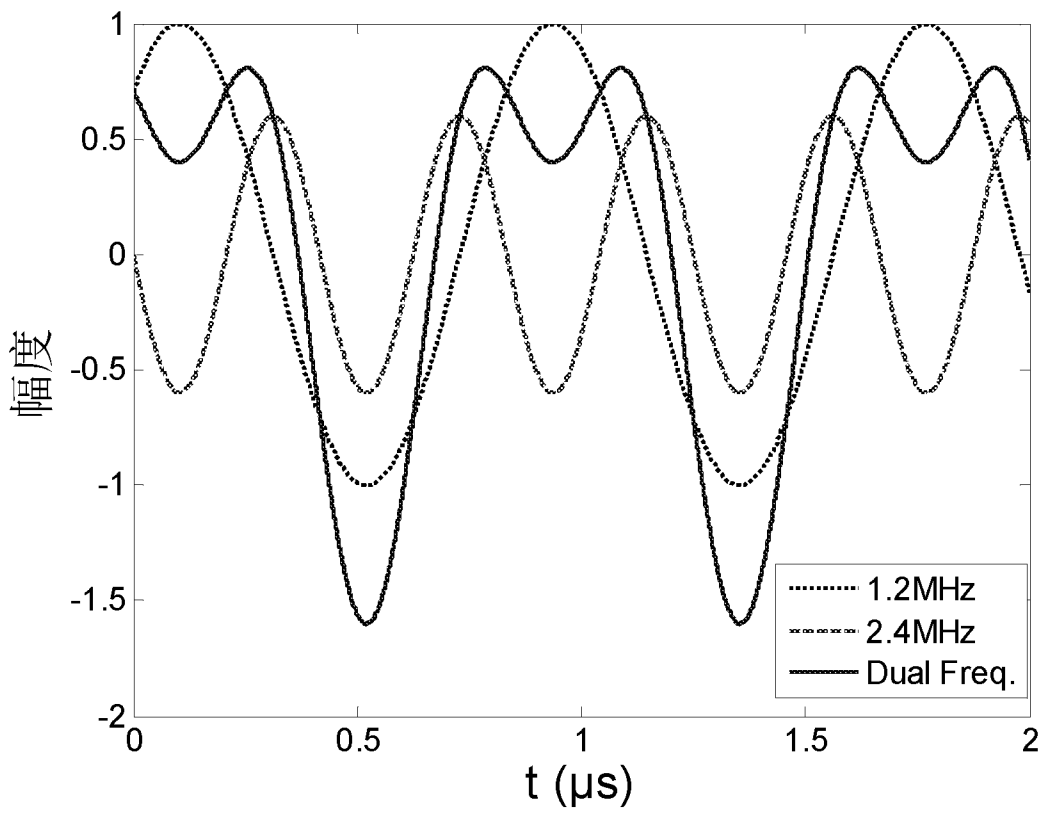


图 8

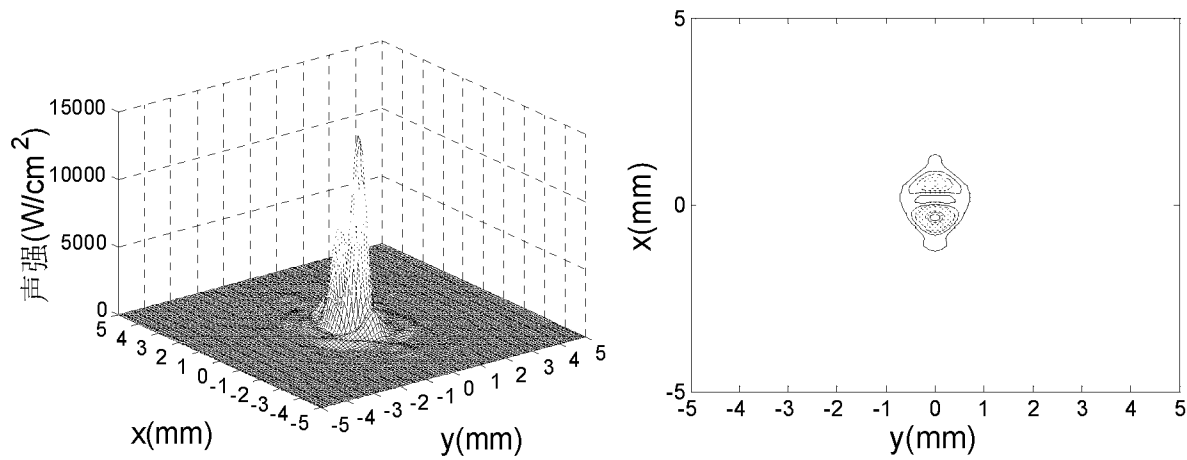


图 9 (a)

图 9 (b)

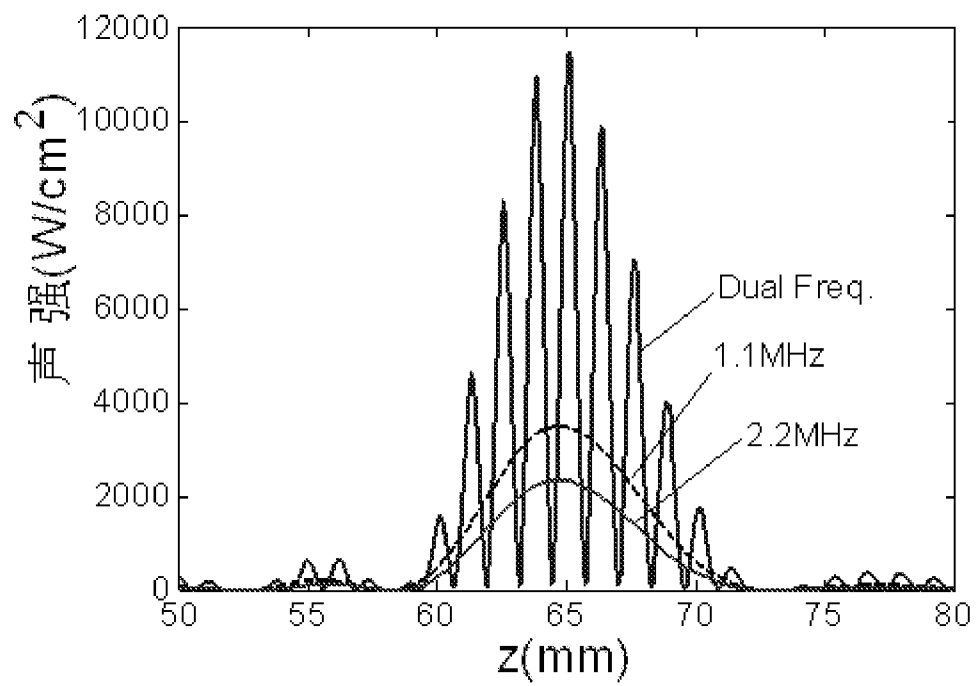


图 10

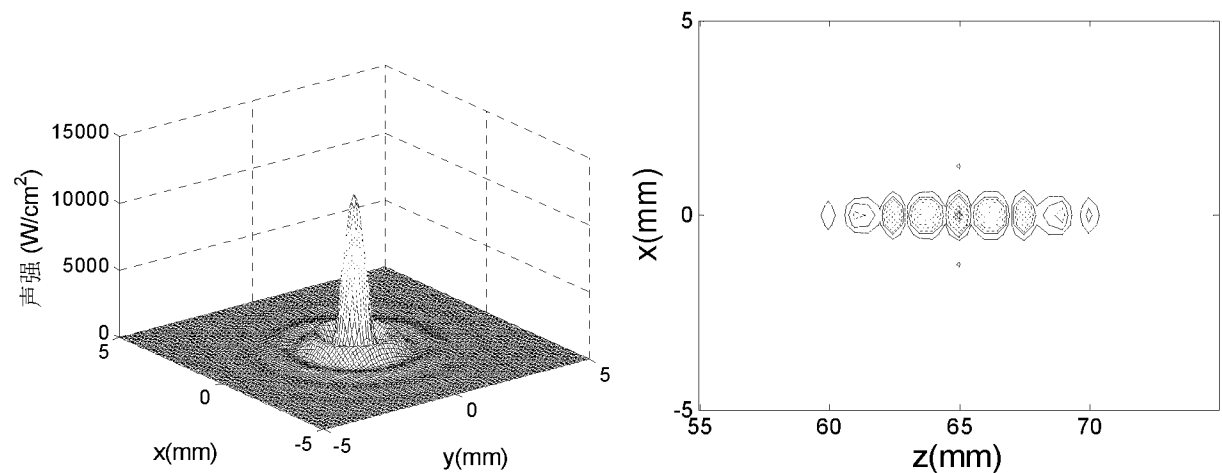


图 11 (a)

图 11 (b)

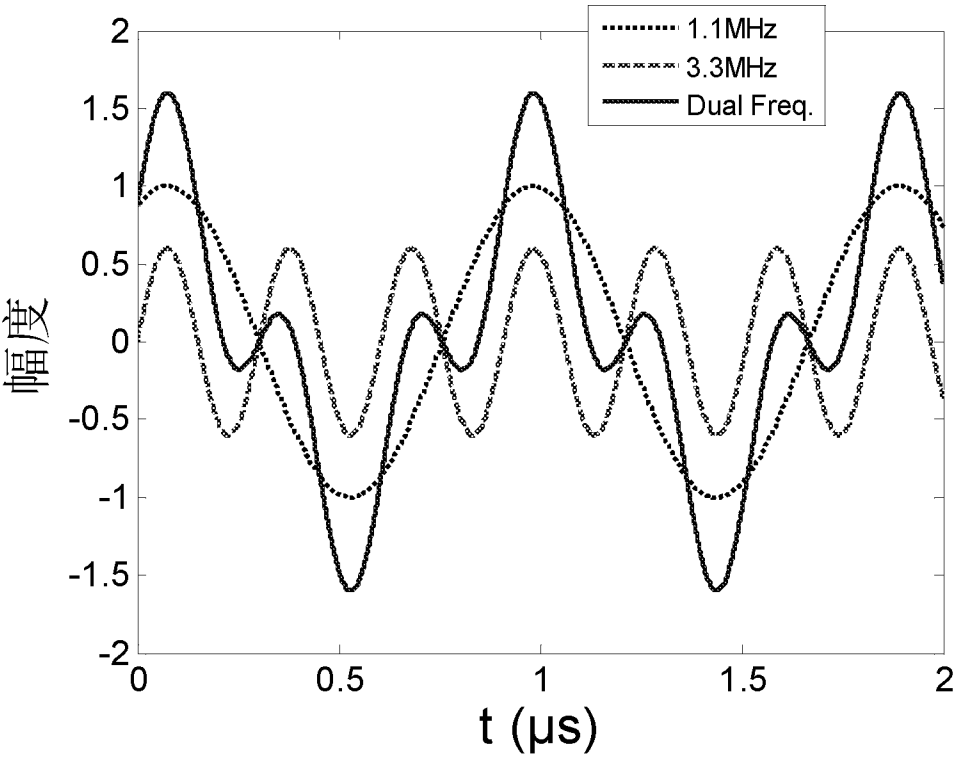


图 12 (a)

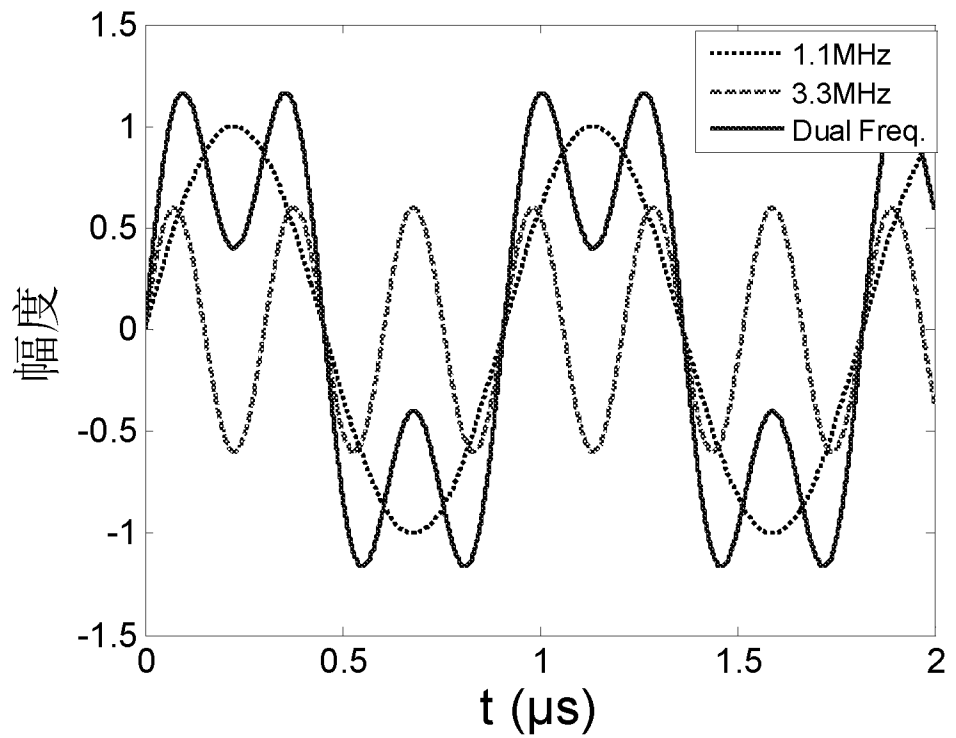


图 12 (b)

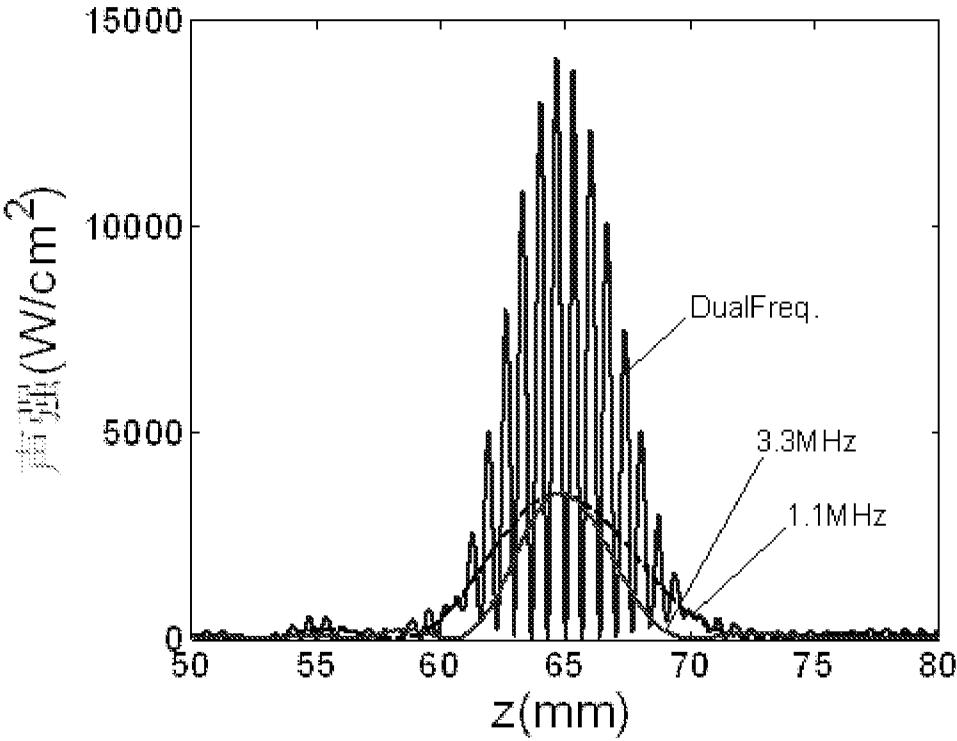


图 13

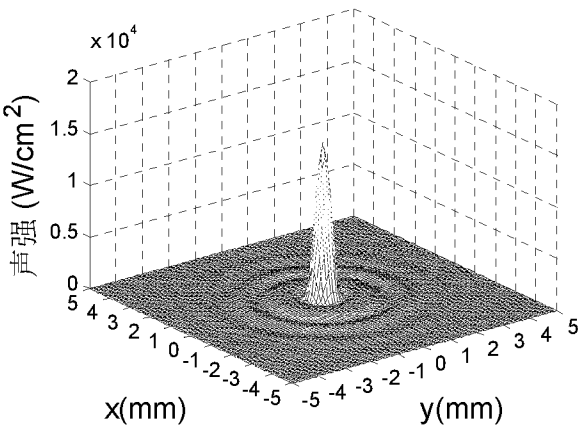


图 14 (a)

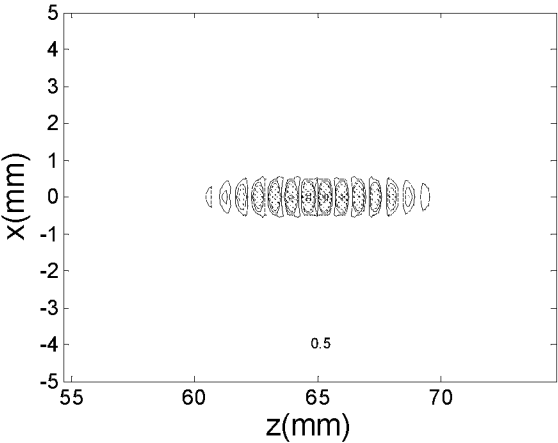


图 14 (b)

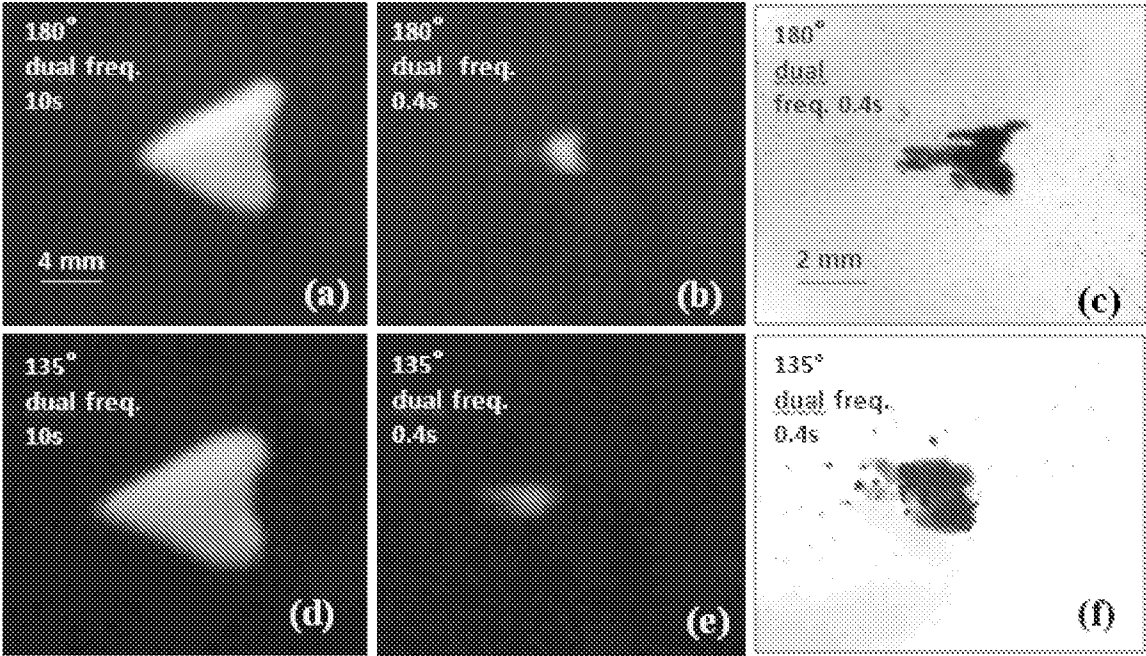


图 15

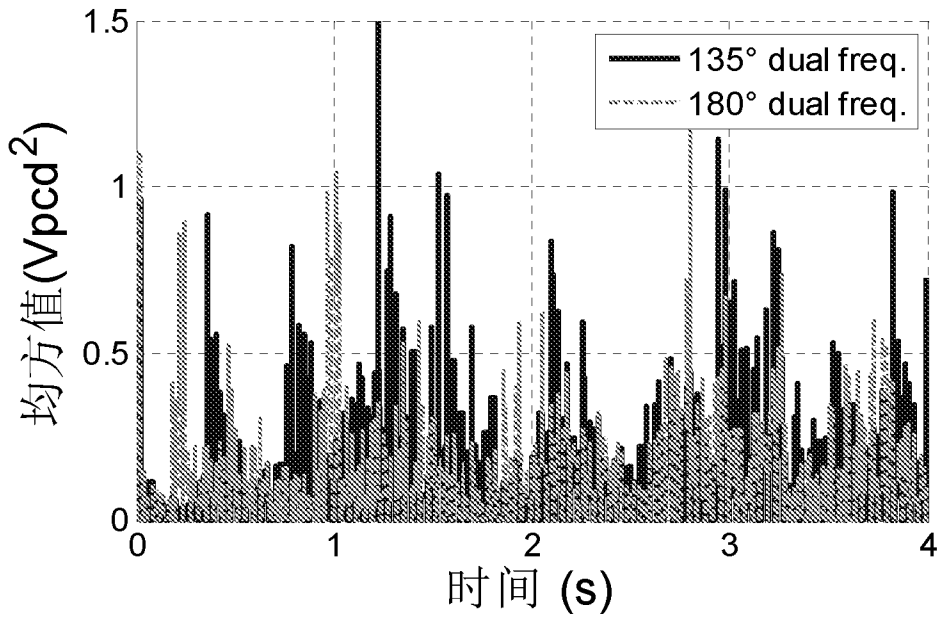


图 16

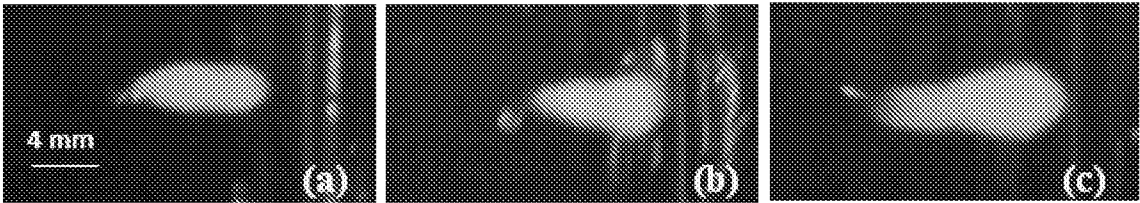


图 17

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/CN2015/084678

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 17/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B 17/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNKI, WPI, EPODOC: LU, Mingzhu, WAN, Mingxi, SU, Qisheng, GUAN, Yubo, DONG, TENG, Ju, phased, array, two, frequency, ablation, thermal, histotripsy, focused, ultrasound, surgery, cavitation, hyperthermia, therapy

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | CN 104225810 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 24 December 2014 (24.12.2014) description, paragraphs [0031] and [0032]                                                                                                                                      | 1-9                   |
| PX        | CN 104622525 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 20 May 2015 (20.05.2015) claims 1-9                                                                                                                                                                          | 1-9                   |
| X         | LU, Mingzhu et al. "A Study of the Field Conjugation Method for Direct Synthesis of Two-frequency Phased-array Ultrasound Hyperthermia" Journal of Applied Sciences, chapter 18, number 1, 31 March 2000 (31.03.2000) ISSN: ISSN 0255-8297, pages 51-54 | 1-9                   |
| X         | US 2011144545 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 16 June 2011 (16.06.2011) description, paragraphs [0013]-[0040], and figures 1, 3 and 4                                                                                                                     | 1-9                   |
| X         | US 5523058 A (HITACHI, LTD.) 04 June 1996 (04.06.1996) description, column 2, line 55 to column 9, line 60, and figures 1-5                                                                                                                             | 1-9                   |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                                              |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                                                                | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                                                                     |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date                                                                               | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                    |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                                               |                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Date of the actual completion of the international search<br>06 November 2015                                                                                                                                 | Date of mailing of the international search report<br>20 November 2015 |
| Name and mailing address of the ISA<br>State Intellectual Property Office of the P. R. China<br>No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao<br>Haidian District, Beijing 100088, China<br>Facsimile No. (86-10) 62019451 | Authorized officer<br>HUANG, Xi<br>Telephone No. (86-10) 82246144      |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**International application No.  
PCT/CN2015/084678

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages           | Relevant to claim No. |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | GB 2515134 A (KING FADAD MDEICAL CITY KFMC) 17 December 2014 (17.12.2014) the whole document | 1-9                   |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/CN2015/084678

| Patent Documents referred<br>in the Report | Publication Date | Patent Family    | Publication Date |
|--------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| CN 104225810 A                             | 24 December 2014 | None             |                  |
| CN 104622525 A                             | 20 May 2015      | None             |                  |
| US 2011144545 A1                           | 16 June 2011     | WO 2011075227 A1 | 23 June 2011     |
|                                            |                  | EP 2512597 A1    | 24 October 2012  |
| US 5523058 A                               | 04 June 1996     | DE 69331692 T2   | 24 October 2002  |
|                                            |                  | EP 0619104 B1    | 13 March 2002    |
|                                            |                  | DE 69331692 D1   | 18 April 2002    |
|                                            |                  | JP 3429761 B2    | 22 July 2003     |
|                                            |                  | EP 0619104 A1    | 12 October 1994  |
|                                            |                  | WO 9406380 A1    | 31 March 1994    |
| GB 2515134 A                               | 17 December 2014 | WO 2015110836 A1 | 30 July 2015     |

| <b>A. 主题的分类</b><br>A61B 17/00 (2006.01) i<br><br>按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                           |                                                |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------|-------------------|---------|---|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|----|------------------------------------------------------------------|-----|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>B. 检索领域</b><br>检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)<br>A61B17/00<br><br>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献<br><br>在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))<br>CNABS, CNKI, WPI, EPODOC: 陆明珠, 万明习, 苏启生, 关宇波, 董腾驹, 相位, 超声热疗, 热效应, 高强度, 聚焦超声, 双频, 倍频, 合成, 热损伤, 空化, 组织, phased, array, two, frequency, ablation, thermal, histotripsy, focused, ultrasound, surgery, cavitation, hyperthermia, therapy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                           |                                                |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| <b>C. 相关文件</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 104225810 A (西安交通大学) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24)<br/>说明书第[00031]-[0032]段, 图1</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 104622525 A (西安交通大学) 2015年 5月 20日 (2015 - 05 - 20)<br/>权利要求1-9</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>陆明珠 等. “双频相控阵超声热疗场共轭直接合成方法的理论研究”<br/>应用科学学报, 第18卷, 第1期, 2000年 3月 31日 (2000 - 03 - 31),<br/>ISSN: ISSN 0255-8297,<br/>第51-54页</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>US 2011144545 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2011年 6月 16日 (2011 - 06 - 16)<br/>说明书第[0013]-[0040]段, 图1、3-4</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>US 5523058 A (HITACHI, LTD.) 1996年 6月 4日 (1996 - 06 - 04)<br/>说明书第2栏第55行-第9栏第60行, 图1-5</td> <td>1-9</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>GB 2515134 A (KING FADAD MEDICAL CITY KFMC) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17)<br/>全文</td> <td>1-9</td> </tr> </tbody> </table> |                                                                                                                           |                                                | 类 型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落 | 相关的权利要求 | X | CN 104225810 A (西安交通大学) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24)<br>说明书第[00031]-[0032]段, 图1 | 1-9 | PX | CN 104622525 A (西安交通大学) 2015年 5月 20日 (2015 - 05 - 20)<br>权利要求1-9 | 1-9 | X | 陆明珠 等. “双频相控阵超声热疗场共轭直接合成方法的理论研究”<br>应用科学学报, 第18卷, 第1期, 2000年 3月 31日 (2000 - 03 - 31),<br>ISSN: ISSN 0255-8297,<br>第51-54页 | 1-9 | X | US 2011144545 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2011年 6月 16日 (2011 - 06 - 16)<br>说明书第[0013]-[0040]段, 图1、3-4 | 1-9 | X | US 5523058 A (HITACHI, LTD.) 1996年 6月 4日 (1996 - 06 - 04)<br>说明书第2栏第55行-第9栏第60行, 图1-5 | 1-9 | A | GB 2515134 A (KING FADAD MEDICAL CITY KFMC) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17)<br>全文 | 1-9 |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                                                         | 相关的权利要求                                        |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | CN 104225810 A (西安交通大学) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24)<br>说明书第[00031]-[0032]段, 图1                                         | 1-9                                            |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| PX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | CN 104622525 A (西安交通大学) 2015年 5月 20日 (2015 - 05 - 20)<br>权利要求1-9                                                          | 1-9                                            |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 陆明珠 等. “双频相控阵超声热疗场共轭直接合成方法的理论研究”<br>应用科学学报, 第18卷, 第1期, 2000年 3月 31日 (2000 - 03 - 31),<br>ISSN: ISSN 0255-8297,<br>第51-54页 | 1-9                                            |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | US 2011144545 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2011年 6月 16日 (2011 - 06 - 16)<br>说明书第[0013]-[0040]段, 图1、3-4                   | 1-9                                            |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | US 5523058 A (HITACHI, LTD.) 1996年 6月 4日 (1996 - 06 - 04)<br>说明书第2栏第55行-第9栏第60行, 图1-5                                     | 1-9                                            |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | GB 2515134 A (KING FADAD MEDICAL CITY KFMC) 2014年 12月 17日 (2014 - 12 - 17)<br>全文                                          | 1-9                                            |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| <input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                           |                                                |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件<br>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件<br>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性<br>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性<br>“&” 同族专利的文件                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                           |                                                |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| 国际检索实际完成的日期<br><br>2015年 11月 6日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                           | 国际检索报告邮寄日期<br><br>2015年 11月 20日                |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |
| ISA/CN的名称和邮寄地址<br><br>中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN)<br>北京市海淀区蓟门桥西土城路6号<br>100088 中国<br><br>传真号 (86-10)62019451                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                           | 授权官员<br><br>黄曦<br><br>电话号码 (86-10)010-82246144 |      |                   |         |   |                                                                                   |     |    |                                                                  |     |   |                                                                                                                           |     |   |                                                                                                         |     |   |                                                                                       |     |   |                                                                                  |     |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/084678

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------|------------|----|----------------|
| CN          | 104225810  | A  | 2014年 12月 24日  | 无    |            |    |                |
| CN          | 104622525  | A  | 2015年 5月 20日   | 无    |            |    |                |
| US          | 2011144545 | A1 | 2011年 6月 16日   | WO   | 2011075227 | A1 | 2011年 6月 23日   |
|             |            |    |                | EP   | 2512597    | A1 | 2012年 10月 24日  |
| US          | 5523058    | A  | 1996年 6月 4日    | DE   | 69331692   | T2 | 2002年 10月 24日  |
|             |            |    |                | EP   | 0619104    | B1 | 2002年 3月 13日   |
|             |            |    |                | DE   | 69331692   | D1 | 2002年 4月 18日   |
|             |            |    |                | JP   | 3429761    | B2 | 2003年 7月 22日   |
|             |            |    |                | EP   | 0619104    | A1 | 1994年 10月 12日  |
|             |            |    |                | WO   | 9406380    | A1 | 1994年 3月 31日   |
| GB          | 2515134    | A  | 2014年 12月 17日  | WO   | 2015110836 | A1 | 2015年 7月 30日   |