

(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
2020 年 7 月 2 日 (02.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/135118 A1

(51) 国际专利分类号:
G01D 21/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/125482

(22) 国际申请日: 2019 年 12 月 16 日 (16.12.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811589367.6 2018 年 12 月 25 日 (25.12.2018) CN

(71) 申请人: 华中科技大学(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(72) 发明人: 郭连波(GUO, Lianbo); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 马浴阳(MA, Yuyang); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 罗为(LUO,

Wei); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 胡桢麟(HU, Zhenlin); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 熊伟(XIONG, Wei); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 盛子千(SHENG, Ziqian); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 万青(WAN, Qing); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 曾晓雁(ZENG, Xiaoyan); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 武汉华之喻知识产权代理有限公司(WUHAN HUAZHUYU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD); 湖北省武汉市东湖高新区佳园路 2 号高科大厦 7 层 7028, Hubei 430074 (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,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR SIMULTANEOUSLY DETECTING ELEMENTS, DEFECTS AND RESIDUAL STRESS

(54) 发明名称: 一种元素、缺陷与残余应力同时检测的方法及装置

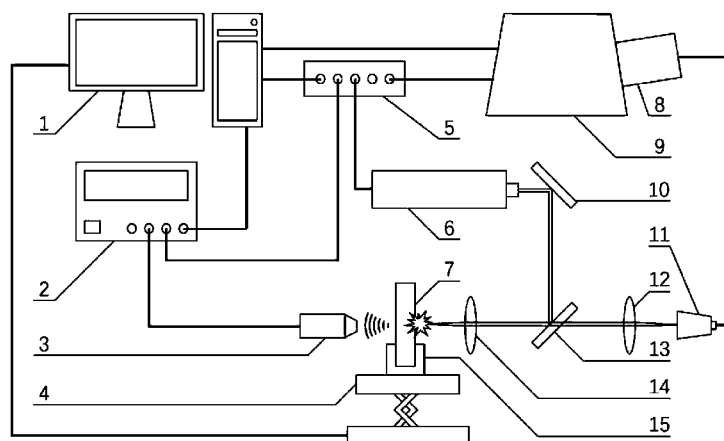


图 3

(57) Abstract: Disclosed are a multi-functional laser photoacoustic detection method and device for elements, defects and residual stress, relating to the technical field of laser material detection. A pulsed laser device (6) emits pulsed laser onto the surface of a sample to be detected (7) to generate plasma and ultrasonic wave for simultaneously detecting and analyzing elementary composition, structure defects and residual stress of the sample. The detection device comprises an excitation unit, a spectrum detection unit, an ultrasonic wave detection unit and an analysis and control unit. A digital time delay unit (5) is connected to a computer (1); a high precision 3D displacement platform (4) is electrically connected to the digital time delay unit (5); the pulsed laser device (6) emits a pulsed laser, and a light path system modulates, focuses, and directs the pulsed laser onto the surface of the sample to be detected (7) so as to simultaneously generate plasma and ultrasonic wave. The ultrasonic wave detection unit is used for detecting ultrasonic waves, and the spectrum detection unit is used for detecting the spectrum of visible light emitted by plasma flame.



CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, 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))。

(57) 摘要: 一种元素、缺陷与残余应力的多功能激光光声检测方法及装置, 属于激光材料检测领域, 其利用脉冲激光器(6)入射到待测样品(7)表面产生等离子体和超声波, 能同时检测与分析样品元素组成、结构缺陷和残余应力。该检测装置包括激发单元、光谱探测单元、超声波探测单元以及分析控制单元, 数字延时器(5)与计算机(1)相连, 高精度3D位移平台(4)与数字延时器(5)相电连接, 脉冲激光器(6)发射出的脉冲激光通过光路系统调制聚焦入射至待测样品(7)表面以同时产生等离子体和超声波, 超声波探测单元用于对超声波进行探测, 光谱探测单元用于对等离子体火焰发射的可见光光谱进行探测。

一种元素、缺陷与残余应力同时检测的方法及装置

[技术领域]

本发明属于激光材料检测领域，具体为一种采用脉冲激光激发的元素组成、缺陷与残余应力分布的多功能激光光声检测及信号分析方法及装置，主要通过脉冲激光对材料激发后产生的光、声信号进行探测与分析，实现对靶材的元素、缺陷与残余应力的同时检测。

[背景技术]

新材料的出现是推动行业发展的重要动力，而材料所制造的构件质量检测则是保证构件安全可靠性及其推广应用的重要保证，因此，材料构件的高精度、快速检测是制造行业的迫切需求。目前，在材料构件检测领域，元素含量、结构缺陷与残余应力分布是材料物理化学性质检测的三个重要方面，而元素、缺陷和应力的检测方法众多。

(1)在元素分析方面，传统的检测手段包括化学法、ICP-OES、XRF、SEM-EDS等。然而，上述方法存在破坏样品、耗时长、环境要求苛刻等缺点，无法满足现代元素含量检测的原位、快速、微损甚至无损等需求，所以一种新的元素检测技术——激光诱导击穿光谱（Laser Induced Breakdown Spectroscopy，简称 LIBS）技术应运而生。

LIBS 技术是一种新型的原子发射光谱分析技术，其基本原理是通过脉冲激光聚焦到样品表面烧蚀激发产生等离子体，并采集等离子体的辐射光谱来对样品进行元素定性与定量分析，以获得其元素种类与含量信息。由于 LIBS 技术具有多元素同步实时分析、简单或者无需样品预处理、快速与微损检测等特点，因此在金属冶金、航空航天、国防工业、核工业等领域具有广泛的应用前景。中国专利文献《一种基于激光诱导击穿光谱的在线检测系统》（公告为 CN207850927 U，公告日为 2018 年 9 月 11 日）公开了一种基于激光诱导击穿光

谱的在线检测系统，该专利申请能够实时、快速、精确地检测出样品中特定元素的含量，获取样品特性，从而及时指导配料生产。

(2) 在结构缺陷无损检测方面，主要包括射线照相检测 (RT)、磁粉检测 (MT)、涡流检测 (ET)、液体渗透检测 (PT) 与超声波检测 (UT) 等技术。其中 RT、MT、ET、PT 技术对检测环境要求比较高，需对待测样品进行预处理，并且存在使用的局限性。由于超声波检测可以突破上述方法的限制，是目前工业领域中最具优势的检测技术。激光超声波检测技术是超声波检测技术的一种，具有无损、非接触、精度高等优点。

中国专利文献《一种基于材料内部缺陷检测的激光超声检测系统及其方法》公开了一种基于材料内部缺陷检测的激光超声检测系统及其方法，该专利可通过激光激发超声波确定内部缺陷的位置及选取该时刻的纵波传播图像，实现对材料内部缺陷的可视化检测。

(3) 在残余应力检测方面，主要分为有损法和无损法。有损法主要有切片法、轮廓法、盲孔法和切条法等，无损法主要包括磁性法、X 射线法、中子衍射法与超声波法等。其中，超声波法同时具有高分辨率、高渗透能力和对人体无害的特点，是残余应力检测发展方向上最具潜力的技术之一。

中国发明专利文献《一种基于激光超声的工件表面残余应力测量装置及其方法》(公告为 CN108168747 A，公告日为 2018 年 6 月 18 日) 公开了一种基于激光超声的工件表面残余应力测量装置及其方法，该方法将聚焦成点源的脉冲激光通过振镜扫描在工件表面产生表面波，通过压电传感器对表面波信号接收和计算，从而实现无损快速检测工件表面的残余应力。

综上所述，在检测领域，虽然对于元素、缺陷、残余应力检测方面均有较为成熟的技术手段，例如元素检测可采用 XRF 技术，缺陷检测可采用超声波法，残余应力检测可采用盲孔法，但是由于目前所采用的检测方法均只能对材料进行一个方面的单一指标检测，因此，若要对金属样品进行全面、系统性检测，则需要采用多种设备进行多次检测，耗时长，成本高，操作复杂。特别需要指出的是，不同检测手段制样要求各异，不仅可能对样品造成严重破坏，而且很

难原位获得样品的多重信息，检测技术的限制，严重阻碍了材料的推广及应用。

[发明内容]

针对现有技术的缺陷或改进需求，本发明提供一种对材料的元素、缺陷与残余应力三者同时进行检测的方法，克服了现有技术中无法同时测量或者一次性测量即可获得元素、缺陷与残余应力的缺陷。

按照本发明的一个方面，提供一种元素、缺陷与残余应力同时检测的方法，其包括如下步骤：

S1：采用高能脉冲激光烧蚀靶材表面，形成等离子体，等离子体膨胀，在靶材表面产生反冲压激发出超声波，同时释放出等离子体光谱，

S2：采集超声波信号和光谱信号，具体的，通过超声探测器，在宽频域范围内采集超声信号，通过采集探头采集等离子体发射光谱，通过光纤传送至光谱仪和 ICCD，

S3：分析超声波信号中信号头波的幅值大小，可以判断探测处是否有缺陷，有缺陷处的信号幅值较低，以此作为探伤的依据，

通过计算超声波的传播时间，可以得到声速大小，基于声弹性理论可知：

$$\sigma = \frac{1}{K} \left(\frac{V_{1z} - V_{10}}{V_{10}} \right)$$

物质的应力 σ 大小与声速变化率 $\frac{V_{1z} - V_{10}}{V_{10}}$ 相关，通过比较测量处的应力声速 V_{1z} 与无应力声速 V_{10} ，可以得到声速变化率，声弹性系数 K 可以通过拉伸试样测得，通过测量声速以得到材料的应力，

针对等离子体的光辐射信号，采用高分辨光谱仪对其进行分光，再通过高灵敏 ICCD 对分光后的信号进行光电转换和分析，得到原子诱导击穿光谱图，光谱的波长信息表征物质的元素种类。

其原理在于，采用高能脉冲激光烧蚀靶材表面，烧蚀处的材料汽化，汽化物质中的原子、分子等粒子吸收能量释放离子，离子继续吸收能量，形成包含原子、分子、离子和自由电子的高温高密度的等离子体羽。等离子体羽吸收激

光能量向外膨胀，产生冲击波。冲击波迅速膨胀传播至样品表面，激发样品中的声子振动，产生高频超声波。同时等离子体内的粒子吸收激光能量会产生电子跃迁，并且辐射出特定波长、反映物质信息的光子。

更具体的，通过高灵敏宽频域的超声探测器，在宽频域范围内采集超声信号。获得超声信号后，利用小波分析对信号进行去噪和波形畸变矫正，提高信噪比，再提取超声信号头波的幅值大小，即可以判断探测处是否有缺陷。通过辨识超声信号头波和一次回波波形，计算超声波的飞行时间，再测量样品厚度，即可计算得到声速大小，基于声弹性理论：

$$\sigma = \frac{1}{K} \left(\frac{V_{Iz} - V_{I0}}{V_{I0}} \right)$$

可知，物质的应力（ σ ）大小与声速变化率（ $\frac{V_{Iz} - V_{I0}}{V_{I0}}$ ）相关，通过比较测量处的应力声速（ V_{Iz} ）与无应力声速（ V_{I0} ），可以得到声速变化率，声弹性系数（ K ）可以通过拉伸试样测得，因此通过测量声速可以得到材料的应力。

针对等离子体的光辐射信号，采用高分辨光谱仪对其进行分光，再通过高灵敏 ICCD 对分光后的信号进行光电转换和成像，得到激光诱导击穿等离子体光谱图。首先通过小波等算法对光谱图进行去噪，其次对谱线的波长偏移和自吸收导致的谱线自蚀进行校准，得到光谱的准确波长信息，从而分析物质的元素种类；通过谱线拟合得到准确的光谱强度，最后通过定标曲线方式建立模型对应激发处元素的含量。

进一步的，对样品进行面扫描，分别将每个检测点的元素含量、超声信号幅值与残余应力组成阵列，即可得到扫描处的元素分布图、超声探伤图和残余应力图。

按照本发明的第二个方面，还提供了一种同时测量元素、缺陷与残余应力的激光光声复合检测系统，其包括激发单元、光谱探测单元、超声波探测单元以及分析控制单元。其中，分析控制单元包括数字延时器、计算机和样品台，数字延时器与计算机相连以受计算机控制，样品台包括高精度 3D 位移平台和样品夹具，样品夹具用于放置待测样品，固定在高精度 3D 位移平台上，高精度 3D

位移平台能沿 X 向、Y 向以及 Z 向移动，从而实现对待分析样品在三维方向的位置调节，高精度 3D 位移平台与数字延时器相电连接。所述计算机中集成有元素分析模块、缺陷分析模块和应力分析模块，所述元素分析模块用于采集并且处理光谱信号，得到目标元素的光谱强度，根据元素含量和光谱强度的关系，得到元素含量信息，还用于对采集点的元素信息按照空间位置组成图像，就得到了元素分布图，所述缺陷分析模块用于采集并且处理超声信号，对信号进行滤波和优化，得到采集处的超声幅值，还用于对采集点的信号幅值按照空间位置组成图像，获得缺陷分布图，所述应力分析模块用于采集并处理超声信号，对信号进行滤波和优化，提取超声波的飞行时间，进而根据飞行时间获得超声声速，并根据超声声速得到残余应力，还用于对采集点的残余应力按照空间位置组成图像，获得残余应力分布图。激发单元包括脉冲激光器和一系列的光路系统，脉冲激光器用于发射出脉冲激光，该脉冲激光用于激发样品同时产生等离子体和超声波，光路系统包括若干反射镜和聚焦镜等光学器件，用于对脉冲激光进行整形滤波后入射至待测样品上，并将等离子体光入射至光谱采集探头。超声波探测单元用于对超声波进行探测，以获得关于待测样品中缺陷与残余应力的信息。光谱探测单元用于对等离子体火焰发射的光谱进行探测，以获得关于待测样品中元素的信息。激发单元、光谱探测单元、超声波探测单元以及分析控制单元共同实现了对样品的元素分布、结构缺陷与残余应力分布扫描的功能。探测得到的结果包含元素分布、物质缺陷与残余应力分布信息的多维图。

进一步的，激发单元包括脉冲激光器、全反射镜、半透半反镜和聚焦物镜。半透半反镜与聚焦物镜位于水平光路上，半透半反镜的透射面与水平光路成 45° 角，全反射镜安装于半透半反镜上方，与半透半反镜成 90° 角。脉冲激光器的出光口与全反射镜在同一水平光路上，成 45° 角。

进一步的，光谱探测单元包括光谱仪探测头、光谱仪探测头聚焦镜、光谱仪以及增强电荷耦合器件。其中，光谱仪探测头、探测头聚焦镜、与聚焦物镜、半透半反镜位于同一水平光路上。光谱仪采集探头与光谱仪通过光纤连接，增强电荷耦合器件安装在光谱仪上，光谱仪与计算机电连接。

进一步的，超声波探测单元包括超声波探测器和采集卡，超声波探测器与采集卡电连接，采集卡同时连接计算机和数字延时器。

进一步的，所述脉冲激光器和所述光谱仪同时与数字延时器电连接。

进一步的，所述超声波探测器包含接触式和非接触式两类，根据检测目标选择放置位置。

进一步的，数字延时发生器用于控制脉冲激光器在设定时间出光、光谱仪在设定时间执行采集工作，还用于控制采集卡在设定时间执行探测工作。数字延时发生器主要用于时序控制，使得与之相电连接受其控制的脉冲激光器、光谱仪、采集卡能在设定的时间执行工作，优化采集效率，相互之间前后不冲突。

本发明中，使用计算机控制高精度 3D 位移平台可以实现被分析样品的三维移动，通过分析控制单元中的数字延时器和计算机控制，可以完成自动采集运动。

本发明中，激发单元与光谱探测单元共用同一光路。激发单元激发的等离子体光由光谱探测单元接收，并传输至计算机进行分析和成像，得到激光烧蚀处的原子发射光谱图。采集时间由数字延时发生器控制，且脉冲激光器、采集卡也是通过数字延时发生器控制其开启顺序及延时。超声波探测器根据检测要求调整放置位置。这种元素、缺陷与残余应力的激光光声复合检测系统使用单一激发光源，同时激发出光谱信息和超声波信息，通过光谱探测设备和超声波探测设备的采集和处理，能够同时得到被测物体的元素、缺陷与残余应力信息。这种技术实现了对元素组成、结构缺陷与残余应力分布对应关系的探索，可用于各种材料元素含量、结构缺陷与残余应力定性定量的复合分析。

总体而言，通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比，能够取得下列有益效果：

(1) 目前行业内，对制造构件的元素成分、冶金缺陷和应力形变都是单独送检，只能做到单一指标检测，本发明最突出的特点是填补了这一空白，通过一束激光激发样品，采集光信号和声信号综合分析，以同时得到材料元素、缺陷和残余应力的综合检测结果。不仅克服了单一检测耗时、过程复杂和样品需

要不同处理等缺点，也为材料的原位、快速、多参数和多功能同时快速检测提供了一种全新的方法。

(2) 本发明的第二个突出特点是可以得到多维度的检测结果。通过对被测样品进行高精度的激光扫描获得其光信号和超声波信号，通过对信号处理和分析，可得到被测样品表面元素分布图、表面/内部的缺陷分布图和表面/内部的残余应力分布图，最终可直观的对被测样品进行多功能复合表征，实现材料检测分析的可视化。

(3) 本发明制样简单甚至无需制样，无需破坏样品，对人体和环境无污染，可用于工业环境，可整合替代现有的元素分析和超声波检测系统，在航空航天、机械制造、冶金化工等诸多领域具有广泛的应用前景。

[附图说明]

图 1 为本发明实施例中光声信号的处理方法示意图。

图 2 为本发明实施例中激光激发与检测示意图。

图 3 为本发明实施例中的一种元素、缺陷与残余应力的激光光声复合检测系统的结构示意图；

其中，1. 计算机；2. 采集卡；3. 超声波探测器；4. 3D 位移平台；5. 数字延时发生器；6. 脉冲激光器；7. 待测样品；8. 增强电荷耦合器件（ICCD）；9. 光谱仪；10. 全反射镜聚焦物镜；11. 光谱仪采集探头；12. 光谱仪采集探头聚焦镜；13. 半透半反镜；14. 聚焦物镜；15. 样品夹具。

[具体实施方式]

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

本发明提出一种采用激光作为光源的光声复合检测的技术，以实现元素组成、结构缺陷与残余应力分布的同时检测。

本发明提供一种元素、缺陷与残余应力同时检测的方法，其包括如下步骤：

S1：采用高能脉冲激光烧蚀靶材表面，形成超声波和等离子体，

S2：采集超声波信号和等离子体信号，具体的，通过超声探测器，在宽频域范围内采集超声信号，

S3：分析超声波信号中信号头波的幅值大小，可以判断探测处是否有缺陷，有缺陷处的信号幅值较低，以此作为探伤的依据，

通过计算超声波的传播时间，可以得到声速大小，基于声弹性理论可知：

$$\sigma = \frac{1}{K} \left(\frac{V_{iz} - V_{is}}{V_{is}} \right)$$

物质的应力 σ 大小与声速变化率 $\frac{V_{iz}-V_{is}}{V_{is}}$ 相关，通过比较测量处的应力声速 V_{iz} 与无应力声速 V_{is} ，可以得到声速变化率，声弹性系数 K 可以通过拉伸试样测得，通过测量声速以得到材料的应力，

针对等离子体的光辐射信号，采用高分辨光谱仪对其进行分光，再通过高灵敏 ICCD 对分光后的信号进行光电转换和分析，得到原子诱导击穿光谱图，光谱的波长信息表征物质的元素种类。

其原理在于，采用高能脉冲激光烧蚀靶材表面，烧蚀处的材料汽化，汽化物质中的原子、分子等粒子吸收能量释放离子，离子继续吸收能量，形成包含原子、分子、离子和自由电子的高温高密度的等离子体羽。等离子体羽吸收激光能量向外膨胀，产生冲击波。冲击波迅速膨胀传播至样品表面，激发样品中的声子振动，产生高频超声波。同时等离子体内的粒子吸收激光能量会产生电子跃迁，并且辐射出特定波长、反映物质信息的光子。

图 1 为本发明实施例中光声信号的处理方法示意图，图 2 为本发明实施例中激光激发与检测示意图，由以上两图可知，通过高灵敏宽频域的超声探测器，在宽频域范围内采集超声信号。获得超声信号后，利用小波分析对信号进行去噪和波形畸变矫正，提高信噪比，再提取超声信号头波的幅值大小，即可以判断探测处是否有缺陷。通过辨识超声信号头波和一次回波波形，计算超声波的

飞行时间，再测量样品厚度，即可计算得到声速大小，基于声弹性理论：

$$\sigma = \frac{1}{K} \left(\frac{V_{L\sigma} - V_{L0}}{V_{L0}} \right)$$

可知，物质的应力（ σ ）大小与声速变化率（ $\frac{V_{L\sigma} - V_{L0}}{V_{L0}}$ ）相关，通过比较测量处的应力声速（ $V_{L\sigma}$ ）与无应力声速（ V_{L0} ），可以得到声速变化率，声弹性系数（ K ）可以通过拉伸试样测得，因此通过测量声速可以得到的材料的应力。

进一步由图 1 和图 2 可知，针对等离子体的光辐射信号，采用高分辨光谱仪对其进行分光，再通过高灵敏 ICCD 对分光后的信号进行光电转换和成像，得到激光诱导击穿等离子体光谱图。首先通过小波等算法对光谱图进行去噪，其次对谱线的波长偏移和自吸收导致的谱线自蚀进行校准，得到光谱的准确波长信息，从而分析物质的元素种类；通过谱线拟合得到准确的光谱强度，最后通过定标曲线方式建立模型对应激发处元素的含量。

图 3 为本发明实施例中的一种元素、缺陷与残余应力的激光光声复合检测系统的结构示意图，由图可知，聚焦物镜 14、半透半反镜 13、光谱仪探测头聚焦镜 12 依次位于同一水平光路上，半透半反镜 13 的透射面与基板的夹角成 45° ，同时也与水平光路成 45° 角。脉冲激光器 6 的出光口、全反射镜 10 依次位于半透半反镜 13 的反射光路上，全反射镜 10 与半透半反镜 13 互相垂直。全反射镜 10、半透半反镜 13、聚焦物镜 14、光谱仪探测头聚焦镜 12 相互之间的距离可以通过连接丝杆与导轨实现水平和竖直调节。

光谱仪采集探头 11 位于光谱仪探测头聚焦镜 12 的右侧，通过光纤与光谱仪 9 连接。增强电荷耦合器件（ICCD）8 安装在光谱仪 9 上，光谱仪 9 通过线缆与计算机 1 连接。高精度 3D 位移平台 4 通过水平方向的电机驱动丝杆与导轨可以实现水平 X、Y 方向的精密移动，通过竖直方向的电机驱动丝杆与导轨可以实现竖直 Z 方向的精密移动，水平电机与竖直电机同时作用，构成 x-y-z 三维运动系统。待测样品 7 放置在样品夹具 15 上，样品夹具 15 固定在高精度 3D 位移平台 4 上。高精度 3D 位移平台 4 通过控制线缆连接到计算机 1 上，以受计算机精密控制其位置。

超声波探测器 3 与脉冲激光分居样品的两侧或放置于同侧，超声波探测器 3 通过连接线连接到采集卡 2 上，采集卡 2 通过线缆连接计算机 1。

数字延时发生器 5 主要用于控制脉冲激光器 6 出光、光谱仪 9 采集以及采集卡 2 采集超声波波形。数字延时发生器 5 与脉冲激光器 6、光谱仪 9、采集卡 2 和计算机 1 中间皆有线缆连接。

脉冲激光器 6 的主要作用是发射脉冲激光束烧蚀待测样品 7 表面以激发出等离子体和超声波，半透半反镜 13 的作用是反射脉冲激光束、透过待测样品 7 激发的等离子体产生的辐射光谱。全反射镜 10 的作用是与半透半反镜 13 组成光路反射结构，将脉冲激光束进行全反射来调整光路，方便采集信息。

光谱仪采集探头 11 位于光谱仪采集探头聚焦镜 12 的正右侧，通过调整空间中的位置与脉冲激光束聚焦采集。光谱仪采集探头 11 采用同轴采集，大大提高了采集光谱信息的稳定性。采集到的信息通过光纤耦合传输到光谱仪 9。

所述增强电荷耦合器件 (ICCD) 8 的主要作用为：和光谱仪 9 一起构成样品的分光系统和检测器，用于收集被测物体表面等离子体产生的发射谱线信号，并将光谱仪 9 分解等离子体辐射光得到的各种元素的光谱线成像，从而对样品元素进行定性和定量分析。

高精度 3D 位移平台 4 的作用是通过接收控制线缆传递的控制信号，控制水平 X、Y 方向的电机与竖直 Z 方向的电机协同运作。具体而言，调节水平 Y 方向的电机正转反转，控制平台左右移动。配合聚焦物镜 14 调节离焦量；调节竖直 Z 方向的电机正转、反转，控制平台升降；调节水平 X 方向的电机正转、反转，控制平台前后平移；平台 Z 方向和 X 方向共同运动可以实现待测样品 7 的面扫描采集。

超声波探测器 3 的作用是探测待测样品 7 激发的超声波信号，并将声波信号转化为电信号，通过线缆传递到采集卡 2。采集卡 2 将电信号通过线缆传递到计算机 1 进行实时成像与分析处理。

计算机 1 可以采用台式计算机或者笔记本电脑，通过 USB 接口、线缆或者网线与数字延时发生器 5、光谱仪 9、高精度 3D 位移平台 4、采集卡 2 进行连接。

计算机的软件具有自动扫描、寻找原子光谱峰值、定性识别、定量转化计算和声波信息处理转化模型等功能。

计算机中集成有元素分析模块、缺陷分析模块和应力分析模块，所述元素分析模块用于采集并且处理光谱信号，得到目标元素的光谱强度，根据元素含量和光谱强度的关系，得到元素含量信息，还用于对采集点的元素信息按照空间位置组成图像，就得到了元素分布图，所述缺陷分析模块用于采集并且处理超声信号，对信号进行滤波和优化，得到采集处的超声幅值，还用于对采集点的信号幅值按照空间位置组成图像，获得缺陷分布图，所述应力分析模块用于采集并处理超声信号，对信号进行滤波和优化，提取超声波的飞行时间，进而根据飞行时间获得超声声速，并根据超声声速得到残余应力，还用于对采集点的残余应力按照空间位置组成图像，获得残余应力分布图。

应用以上系统进行元素、缺陷与残余应力的激光光声复合检测方法如下：采用激光作为激发源来激发待测样品，以同时产生超声波和等离子体，通过采集声、光信号，从而同时获得材料的元素、缺陷与残余应力信息。在实际使用时，通过激光对样品进行线、面扫描分析，可在微损甚至无损样品的前提下，同时获得被测物体的元素、缺陷与残余应力分布。

下面结合具体实施例对本发明装置进行进一步详细的说明。

实施例 1：

现以检测电弧增材制造样品为例来说明本发明所述激光光声复合检测系统的使用流程，具体操作步骤如下：

(1) 脉冲激光器 6 采用 Nd:YAG 调 Q 激光器，其发射波长为 532 nm，脉冲宽度为 8 ns，调节脉冲能量约为 50 mJ。超声波探测器 3 使用水浸式超声波探头，中心频率为 20 MHz。数字延时发生器 5 型号为 DG535，其延迟分辨率为 5 ps。

(2) 将焊接样品置于样品夹具 15 上。扫描面正对激光出光口，调整 3D 位移平台 4 在 Y 轴方向的位置和聚焦物镜 14 的位置，使脉冲激光束聚焦在焦点位置；调整高精度 3D 位移平台 4 在 X-Z 轴上的位置到待扫描区的初始点。

适当调整光谱仪采集探头 11 与光谱仪采集探头聚焦镜 12 的距离，使其具有最佳的采集条件。超声波探测器 3 放置于样品背测，在探测面使用耦合剂，与焊接样品的背面耦合，使其具备探测条件，并且固定位置。

当焊接样品的扫描区域对准并锁定后，使用计算机 1 控制数字延时发生器 5 与高精度 3D 位移平台 4，受数字延时发生器 5 控制的 3 个设备与受计算机控制的高精度 3D 位移平台依次启动工作，工作顺序为脉冲激光器 6、光谱仪 9、采集卡 3、高精度 3D 位移平台 4。

(3) 脉冲激光器 6 启动，发出脉冲激光束，脉冲激光束经全反射镜 10 改变光路方向向下，然后经半透半反镜 13 改变光路方向向左后，经聚焦物镜 14 聚焦到待测样品 7 探测面上进行烧蚀。

在聚焦烧蚀处被探测物质吸收能量蒸发汽化，大量的物质转化为等离子体状态，等离子体发生能级跃迁发出光信号，光信号经过聚焦物镜 14→半透半反镜 13→光谱仪采集探头聚焦镜 12 的同轴采集光路被光谱仪采集探头 11 采集到。其中，半透半反镜 13 为全反射脉冲激光，全透过等离子体辐射光。

光谱仪 9 对激光激发的原子和离子光谱进行探测、分析，将所检测出的光谱信号传输至增强电荷耦合器件 (ICCD) 8，接收数字延时发生器 5 控制的时序信号，开启其光谱采集开关对光谱信号进行理想的延时信号采集，并把采集到的光谱信号进行放大处理并转化为电信号传输到计算机 1，最后处理得到等离子体的光谱图。

激光烧蚀产生等离子体的同时，在待测样品 7 的内部也由于脉冲激光激发产生了超声波，超声波在物体内部传播，被耦合在焊接样品另一侧的超声波探测器 3 采集到，将超声波信息转化为电信号，通过采集卡 2 传输到计算机 1 的对应模块处理，得到焊接样品的缺陷与残余应力信息。

(4) 对一个采集点完成采集后，高精度 3D 位移平台 4 运动到下一个采集位置，重复上述步骤，直到所有采集点全部采集完毕。

所有采集点采集完毕后，通过计算机 1 的处理模块，将采集点的光谱信息一一对应到扫描面的坐标，对设定元素的含量进行定量分析，通过颜色区别，

形成面扫描元素含量分布图；同时结合探测到的超声波幅度与速度信息，形成面扫描缺陷分布图与残余应力分布图，最终得到包含被检测物体元素、缺陷与残余应力的分布图。

通过上述步骤，就完成了基于 LIBS 和激光超声波技术的成分面扫描和结构缺陷、残余应力分布的准确定性及精确定量分析。当需要对样品其他位置进行探测时，通过 x、y、z 三轴联动控制，重新锁定扫描平面，完成对样品不同部位的综合扫描分析。

对样品进行检测时，首先应该根据试样的表面形貌和检测要求划定扫描平面和编制脉冲激光的扫描路径，应该通过数字延时发生器 5 控制各个功能单元的时序协调，获得最佳的采集效果。

本发明提出的一种针对材料元素、缺陷与残余应力的激光光声复合检测系统，通过采用单一脉冲激光作为激发光源来烧蚀被测样品，激发产生等离子体与超声波。一方面，采用光谱仪对等离子体的发射光谱进行采集；另一方面，同步采用超声波探测器对伴随激光激发产生的超声波进行探测；从而实现对样品的元素、缺陷与残余应力同时进行检测与分析，

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求

1、一种同时测量元素、缺陷与残余应力的方法，其特征在于，其包括如下步骤：

S1：采用高能脉冲激光烧蚀靶材表面，形成超声波和等离子体，

S2：采集超声波信号和等离子体信号，具体的，通过超声探测器，在宽频域范围内采集超声信号，

S3：分析超声波信号中信号头波的幅值大小，能判断探测处是否有缺陷，有缺陷处的信号幅值较低，以此作为探伤的依据，

通过计算超声波的传播时间，可以得到声速大小，基于声弹性理论有：

$$\sigma = \frac{1}{K} \left(\frac{V_{is} - V_{is0}}{V_{is0}} \right)$$

物质的应力 σ 大小与声速变化率 $\frac{V_{is}-V_{is0}}{V_{is0}}$ 相关，通过比较测量处的应力声速 V_{is} 与无应力声速 V_{is0} ，可以得到声速变化率，声弹性系数 K 通过拉伸试样测得，通过测量声速以得到材料的应力，

针对等离子体的光辐射信号，采用光谱仪对其进行分光，再通过 ICCD 对分光后的信号进行光电转换和分析，得到原子诱导击穿光谱图，光谱的波长信息表征物质的元素种类。

2、如权利要求 1 所述的一种同时测量元素、缺陷与残余应力的方法，其特征在于，还包括步骤 S4：对样品进行面扫描，分别将每个检测点的元素含量、超声信号幅值与残余应力组成阵列，得到扫描处的元素分布图、超声探伤图和残余应力图。

3、一种实现如权利要求 1-2 之一所述方法的装置，其特征在于，其包括激发单元、光谱探测单元、超声波探测单元以及分析控制单元，其中，

分析控制单元包括数字延时器、计算机和样品台，数字延时器与计算机相连以受计算机控制，样品台包括高精度 3D 位移平台和样品夹具，样品夹具用于放置待测样品，样品夹具固定在高精度 3D 位移平台上，高精度 3D 位移平台能沿 X 向、Y 向以及 Z 向移动，从而实现对待分析样品在三维方向的位置调节，高精度 3D 位移平台与数字延时器相电连接，

所述计算机中集成有元素分析模块、缺陷分析模块和应力分析模块，

所述元素分析模块用于采集并且处理光谱信号，得到目标元素的光谱强度，根据元素含量和光谱强度的关系，得到元素含量信息，还用于对采集点的元素信息按照空间位置组成图像，得到了元素分布图，

所述缺陷分析模块用于采集并且处理超声信号，对信号进行滤波和优化，得到采集处的超声幅值，还用于对采集点的信号幅值按照空间位置组成图像，获得缺陷分布图，

所述应力分析模块用于采集并处理超声信号，对信号进行滤波和优化，提取超声波的飞行时间，进而根据飞行时间获得超声声速，并根据超声声速得到残余应力，还用于对采集点的残余应力按照空间位置组成图像，获得残余应力分布图，

激发单元包括脉冲激光器和光路系统，脉冲激光器用于发射出脉冲激光，该脉冲激光用于激发样品同时产生等离子体和超声波，光路系统包括多个反射镜和聚焦镜，用于对脉冲激光进行整形滤波后入射至待测样品上，并将等离子体光入射至光谱采集探头

超声波探测单元用于对超声波进行探测，以获得关于待测样品中缺陷与残余应力的信息，

光谱探测单元用于对等离子体火焰发射的光谱进行探测，以获得关于待测样品中元素的信息。

4、如权利要求 3 所述的装置，其特征在于，所述光路系统包括全反射镜、半透半反镜和聚焦物镜，半透半反镜与聚焦物镜位于水平光路上，半

透半反镜的透射面与水平光路成 45° 夹角，全反射镜安装于半透半反镜上方，与半透半反镜成 90° 角夹角，脉冲激光器的出光口与全反射镜在同一水平光路上，成 45° 角夹角。

5、如权利要求 4 所述的装置，其特征在于，光谱探测单元包括光谱仪探测头、光谱仪探测头聚焦镜、光谱仪以及增强电荷耦合器件，其中，光谱仪探测头、探测头聚焦镜、与聚焦物镜、半透半反镜位于同一水平光路上，光谱仪采集探头与光谱仪通过光纤连接，增强电荷耦合器件安装在光谱仪上，光谱仪与计算机电连接。

6、如权利要求 5 所述的装置，其特征在于，超声波探测单元包括超声波探测器和采集卡，超声波探测器与采集卡电连接，采集卡同时连接计算机和数字延时器，

所述脉冲激光器和所述光谱仪同时与数字延时器电连接，

所述超声波探测器包含接触式和非接触式两类。

7、如权利要求 6 所述的装置，其特征在于，数字延时发生器用于控制脉冲激光器在设定时间出光、光谱仪在设定时间执行采集工作，还用于控制采集卡在设定时间执行探测工作，数字延时发生器主要用于时序控制，使得与之相电连接受其控制的脉冲激光器、光谱仪、采集卡能在设定的时间执行工作，相互之间前后不冲突。

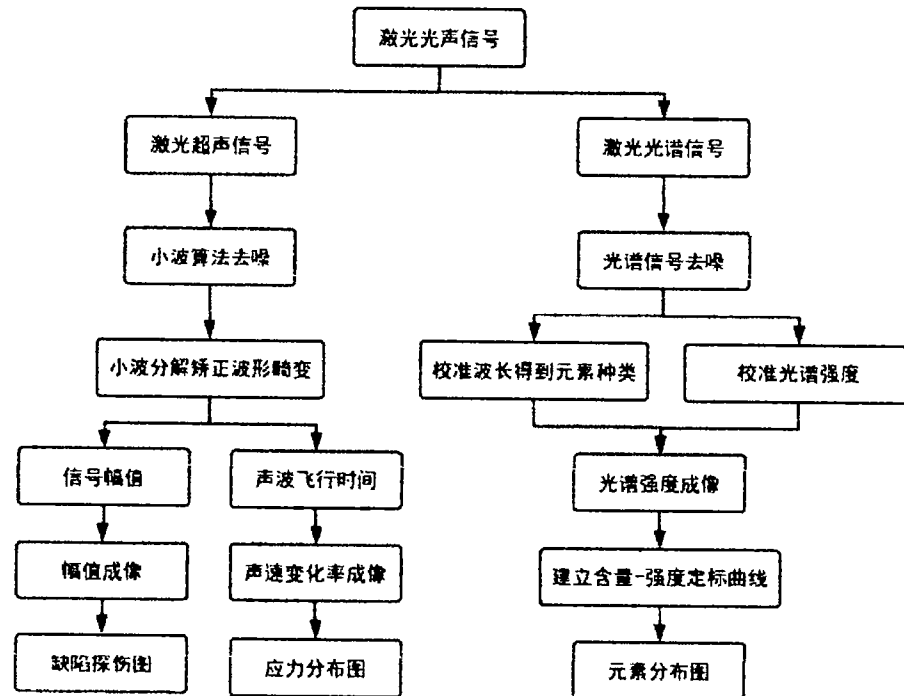


图 1

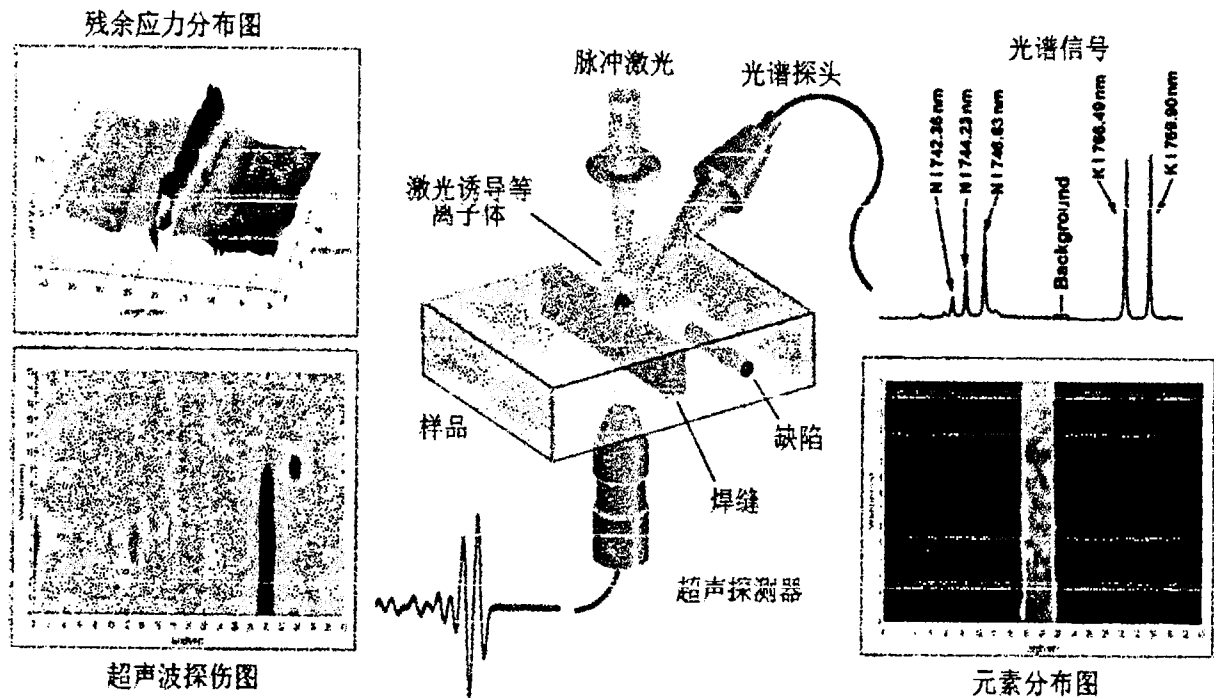


图 2

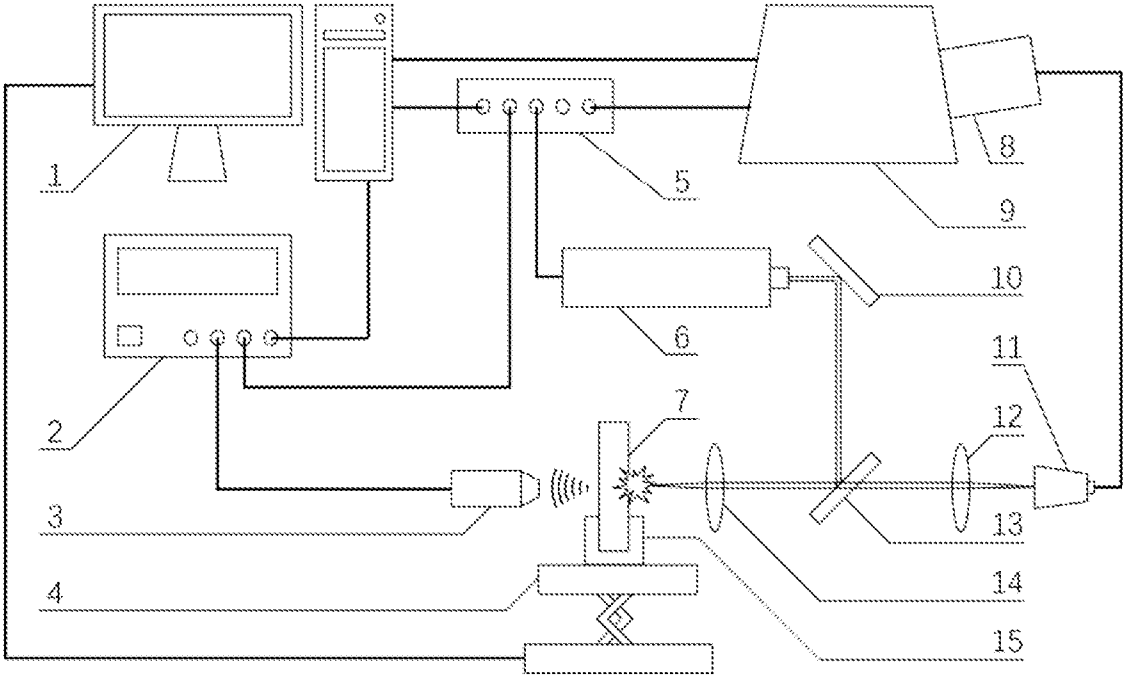


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/125482

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01D 21/02(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)

G01D,G01L,G01N

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 郭连波, 华中科技大学, 激光, 超声, 等离子, 应力, 缺陷, 探伤, 测, laser, ultrasonic, plasma, stress, failure or fault, element, measur+, detect+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109990829 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 July 2019 (2019-07-09) claims 1-7, and figures 1-3	1-7
Y	CN 107607520 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 19 January 2018 (2018-01-19) description, paragraphs [0010]-[0036], figure 1	1-7
Y	CN 108168747 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 15 June 2018 (2018-06-15) description, paragraphs [0034]-[0045], figures 1-2	1-7
A	CN 107402044 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 28 November 2017 (2017-11-28) entire document	1-7
A	CN 103674359 A (YANTAI FURUN IND CO LTD) 26 March 2014 (2014-03-26) entire document	1-7
A	CN 107271370 A (JIUJIANG UNIVERSITY) 20 October 2017 (2017-10-20) entire document	1-7
A	CN 207850927 U (CHENGDU ALIBEN TECH CO LTD) 11 September 2018 (2018-09-11) entire document	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 March 2020

Date of mailing of the international search report

18 March 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/125482**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011036170 A1 (UNIV. NORTHWESTERN) 17 February 2011 (2011-02-17) entire document	1-7
A	US 5798832 A (NIS INGENIEURGESELLSCHAFT MBH.) 25 August 1998 (1998-08-25) entire document	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/125482

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109990829	A	09 July 2019	None			
CN	107607520	A	19 January 2018	None			
CN	108168747	A	15 June 2018	None			
CN	107402044	A	28 November 2017	CN	107402044	B	22 November 2019
CN	103674359	A	26 March 2014	CN	103674359	B	22 June 2016
CN	107271370	A	20 October 2017	None			
CN	207850927	U	11 September 2018	None			
US	2011036170	A1	17 February 2011	WO	2012044811	A1	05 April 2012
				US	8438927	B2	14 May 2013
US	5798832	A	25 August 1998	EP	0758447	B1	04 November 1998
				DE	4415381	A1	09 November 1995
				WO	9530140	A1	09 November 1995
				EP	0758447	A1	19 February 1997

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/125482

A. 主题的分类 G01D 21/02 (2006.01) i 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. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G01D, G01L, G01N 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 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)) CNPAT, CNKI, WPI, EP0D0C: 郭连波, 华中科技大学, 激光, 超声, 等离子, 应力, 缺陷, 探伤, 测, laser, ultrasonic, plasma, stress, failure or fault, element, measur+, detect+																													
C. 相关文件 <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>PX</td> <td>CN 109990829 A (华中科技大学) 2019年 7月 9日 (2019 - 07 - 09) 权利要求1-7, 图1-3</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 107607520 A (华中科技大学) 2018年 1月 19日 (2018 - 01 - 19) 说明书第[0010]-[0036]段, 图1</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 108168747 A (浙江大学) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 说明书第[0034]-[0045]段, 图1-2)</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107402044 A (华中科技大学) 2017年 11月 28日 (2017 - 11 - 28) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103674359 A (烟台富润实业有限公司) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107271370 A (九江学院) 2017年 10月 20日 (2017 - 10 - 20) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 207850927 U (成都艾立本科技有限公司) 2018年 9月 11日 (2018 - 09 - 11) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2011036170 A1 (UNIV. NORTHWESTERN) 2011年 2月 17日 (2011 - 02 - 17) 全文</td> <td>1-7</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	PX	CN 109990829 A (华中科技大学) 2019年 7月 9日 (2019 - 07 - 09) 权利要求1-7, 图1-3	1-7	Y	CN 107607520 A (华中科技大学) 2018年 1月 19日 (2018 - 01 - 19) 说明书第[0010]-[0036]段, 图1	1-7	Y	CN 108168747 A (浙江大学) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 说明书第[0034]-[0045]段, 图1-2)	1-7	A	CN 107402044 A (华中科技大学) 2017年 11月 28日 (2017 - 11 - 28) 全文	1-7	A	CN 103674359 A (烟台富润实业有限公司) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-7	A	CN 107271370 A (九江学院) 2017年 10月 20日 (2017 - 10 - 20) 全文	1-7	A	CN 207850927 U (成都艾立本科技有限公司) 2018年 9月 11日 (2018 - 09 - 11) 全文	1-7	A	US 2011036170 A1 (UNIV. NORTHWESTERN) 2011年 2月 17日 (2011 - 02 - 17) 全文	1-7
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																											
PX	CN 109990829 A (华中科技大学) 2019年 7月 9日 (2019 - 07 - 09) 权利要求1-7, 图1-3	1-7																											
Y	CN 107607520 A (华中科技大学) 2018年 1月 19日 (2018 - 01 - 19) 说明书第[0010]-[0036]段, 图1	1-7																											
Y	CN 108168747 A (浙江大学) 2018年 6月 15日 (2018 - 06 - 15) 说明书第[0034]-[0045]段, 图1-2)	1-7																											
A	CN 107402044 A (华中科技大学) 2017年 11月 28日 (2017 - 11 - 28) 全文	1-7																											
A	CN 103674359 A (烟台富润实业有限公司) 2014年 3月 26日 (2014 - 03 - 26) 全文	1-7																											
A	CN 107271370 A (九江学院) 2017年 10月 20日 (2017 - 10 - 20) 全文	1-7																											
A	CN 207850927 U (成都艾立本科技有限公司) 2018年 9月 11日 (2018 - 09 - 11) 全文	1-7																											
A	US 2011036170 A1 (UNIV. NORTHWESTERN) 2011年 2月 17日 (2011 - 02 - 17) 全文	1-7																											
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																													
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “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) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “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 </td> <td> “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 “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 “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 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “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) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “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	“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 “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 “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 “&” 同族专利的文件																									
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “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) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “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	“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 “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 “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 “&” 同族专利的文件																												
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期																											
2020年 3月 2日		2020年 3月 18日																											
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																											
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		杨晓林 电话号码 86-(10)-53962460																											

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 5798832 A (NIS INGENIEURGESELLSCHAFT MBH.) 1998年 8月 25日 (1998 - 08 - 25) 全文	1-7

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/125482

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	109990829	A	2019年 7月 9日	无			
CN	107607520	A	2018年 1月 19日	无			
CN	108168747	A	2018年 6月 15日	无			
CN	107402044	A	2017年 11月 28日	CN	107402044	B	2019年 11月 22日
CN	103674359	A	2014年 3月 26日	CN	103674359	B	2016年 6月 22日
CN	107271370	A	2017年 10月 20日	无			
CN	207850927	U	2018年 9月 11日	无			
US	2011036170	A1	2011年 2月 17日	WO	2012044811	A1	2012年 4月 5日
				US	8438927	B2	2013年 5月 14日
US	5798832	A	1998年 8月 25日	EP	0758447	B1	1998年 11月 4日
				DE	4415381	A1	1995年 11月 9日
				WO	9530140	A1	1995年 11月 9日
				EP	0758447	A1	1997年 2月 19日