

(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
2025 年 7 月 3 日 (03.07.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/138129 A1

(51) 国际专利分类号:

G01N 21/71 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2023/143326

(22) 国际申请日:

2023 年 12 月 29 日 (29.12.2023)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(71) 申请人: 苏州热工研究院有限公司 (SUZHOU NUCLEAR POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。西安交通大学(XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国陕西省西安市碑林区咸宁西路28号 710049 (CN)。

(72) 发明人: 杭玉桦(HANG, Yuhua); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。朱斌(ZHU, Bin); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。梅

金娜(MEI, Jinna); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。吴坚(WU, Jian); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。蔡振(CAI, Zhen); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。刘韬(LIU, Tao); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。邱岩(QIU, Yan); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。李兴文(LI, Xingwen); 中国江苏省苏州市西环路1688号 215004 (CN)。

(74) 代理人: 苏州创元专利商标事务所有限公司 (SUZHOU CREATOR PATENT & TRADEMARK AGENCY, LTD.); 中国江苏省苏州市干将西路93号国涛商务大厦 215002 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,

(54) Title: METHOD FOR IDENTIFYING GRADE OF RADIOACTIVE METAL MATERIAL IN NUCLEAR POWER PLANT

(54) 发明名称: 一种核电站放射性金属材料牌号的识别方法

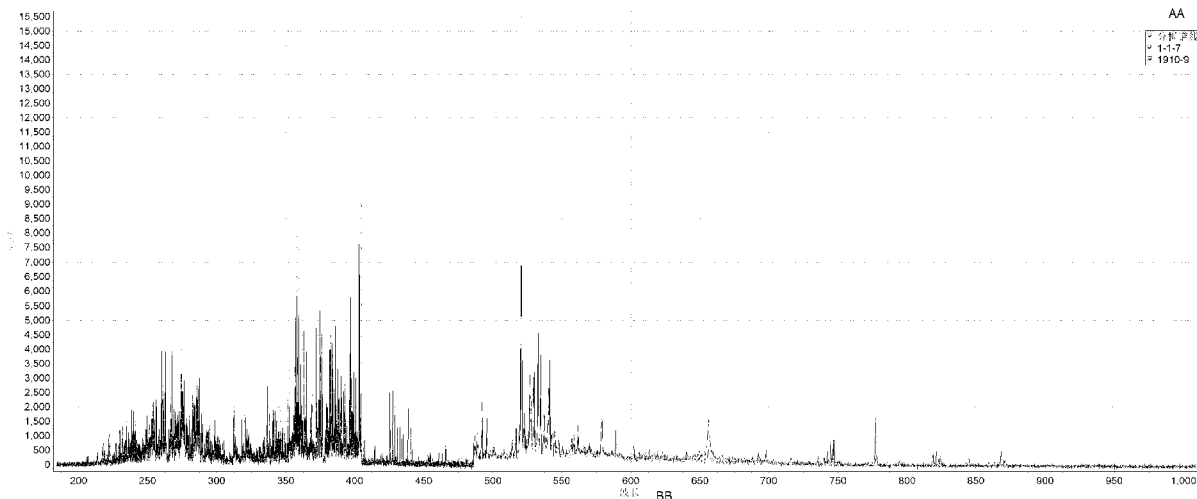


图 1

AA Analytical spectral line
BB Wavelength

(57) Abstract: A method for identifying the grade of a highly radioactive metal material in a nuclear power plant. The method comprises the steps of: S1, using a laser-induced breakdown spectroscopy apparatus to perform spectrum collection on a radioactive metal material, so as to obtain average spectral information of the radioactive metal material; S2, performing similarity calculation on the obtained average spectral information of the radioactive metal material and the spectrum of a selected material of a known grade, so as to obtain a composite similarity; and S3, determining the grade of the radioactive metal material on the basis of the composite similarity. Rapid evaluation of the grade of a metal material independent of component analysis is realized, and the evaluation is quick in terms of speed and high in terms of accuracy.

[见续页]



IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, 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, ME, 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: 一种核电站高放射性金属材料牌号的识别方法, 包括步骤: S1: 采用激光诱导击穿光谱装置对放射性金属材料进行光谱采集, 获得放射性金属材料的平均光谱信息; S2: 将获得的放射性金属材料的平均光谱信息与选定的已知牌号材料的光谱进行相似度计算, 获得复合相似度; S3: 根据复合相似度确定放射性金属材料的牌号。实现了不依赖于成分分析的金属材料牌号快速评估, 评估速度快、精度高。

一种核电站放射性金属材料牌号的识别方法

技术领域

本发明涉及金属材料光谱分析技术领域，尤其涉及一种适用于核电站高放射性金属材料牌号的识别方法。

背景技术

核电站高放射性金属材料的精准识别和高效检测一直是核电站的核心关注问题。由于核电厂的复杂环境和材料的放射性，常规的检测方法如火花直读法或 X 射线荧光光谱法在实施过程中操作人员通常需要遭受一定允许范围内的核辐射剂量，同时在材料牌号识别方面存在一定不足，亟需一种原位远程在线测量手段，既能实现高放射性金属材料的牌号识别，又能保障操作人员的职业健康。

近年来，激光诱导击穿光谱技术(Laser Induced Breakdown Spectroscopy，以下简称 LIBS 技术)的发展为核电厂高放射性、高温、高压等恶劣运行环境下核心部件材料的服役行为高效评价提供了新的技术手段。LIBS 技术是基于高功率脉冲激光与待测样品相互作用产生瞬态等离子体，高温高密的等离子体辐射出不同波长的特征谱线，通过分析等离子体发射光谱中原子或离子的特征谱线，实现对待测样品定性或定量分析的一种光谱技术。

与传统方法相比，LIBS 技术强大的远程在线检测能力是常规的检测手段所不能达到的；LIBS 技术在检测过程中只有“光接触”样品表面，在检测过程中烧蚀的样品质量只有微克量级，对整个系统没有任何影响，能够实时获得分析结果，准确度高、分析速度快，在核电站发展的新型在线监测技术中，其优势明显。

现有的金属材料牌号识别技术，如申请号为 201510372613.2 的发明专利《金属材料的牌号鉴定方法及系统》，其主要依赖于预设的金属元素含量范围，通过含量范围比较求卡方值，该方法需要基于所测材料的含量范围进行判断；又如申请号为 201010576063.3 的发明专利《一种快速、无损鉴定金属材料牌号的方法》，其采用 X 射线荧光光谱仪，无法测量原子序数较低的元素含量，同时仅能分辨至碳素钢、中低合金钢等，不能确定具体牌号。以上发明均不能适用于核电站高放射性金属材料牌号的快速高效识别。

发明内容

有鉴于此，本发明的目的是提供一种适用于核电站放射性金属材料牌号的识别

方法。

为了达到上述目的，本发明采用以下的技术方案：

一种核电站放射性金属材料牌号的识别方法，包括如下步骤：

S1：采用激光诱导击穿光谱装置对放射性金属材料进行光谱采集，获得该放射性金属材料的平均光谱信息；

S2：将获得的放射性金属材料的平均光谱信息与选定的已知牌号材料的光谱进行相似度计算，获得复合相似度；

S3：根据复合相似度确定放射性金属材料的牌号。

根据本发明的一些优选实施方面，所述的平均光谱信息包括波长 λ 、强度 H 和数据点数 N 。

根据本发明的一些优选实施方面，所述的波长分辨率小于0.07 nm，波长范围为180 nm-1015 nm，数据点数 N 大于7000。

根据本发明的一些优选实施方面，所述的平均光谱信息的计算方法为：对每一个波长的光谱强度进行平均，即 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$ ， n 为采集次数。

根据本发明的一些优选实施方面，所述相似度的计算包括以下步骤：

1)：计算全波长范围内的相似度 $r = \frac{N \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ；

2)：计算225 nm-325 nm波长范围内的相似度 $r_1 = \frac{N_1 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_1 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_1 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ， N_1 是225 nm-325 nm波长范围数据点数；

3)：计算335 nm-450 nm波长范围内的相似度 $r_2 = \frac{N_2 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_2 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_2 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ， N_2 是335 nm-450 nm波长范围数据点数；

4)：计算450 nm-600 nm波长范围内的相似度 $r_3 = \frac{N_3 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_3 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_3 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ， N_3 是450 nm-600 nm波长范围数据点数；

5)：计算复合相似度： $S = X_1 r_1 + X_2 r_2 + X_3 r_3 + X r$ 。

根据本发明的一些优选实施方面，所述复合相似度的计算中， $X_1 + X_2 + X_3 + X = 1$ ，其中， X 取0.2-0.25， X_1 取0.3-0.4， X_2 取0.25-0.3， X_3 取0.15-0.2。

根据本发明的一些优选实施方面，根据复合相似度确定放射性金属材料的牌号方法为：若放射性金属材料与选定的已知牌号材料复合相似度 ≥ 0.910 ，则放射性金属材料为该选定的已知牌号材料；若放射性金属材料与选定的已知牌号材料复合相似度小于 0.910，则更换选定的已知牌号材料，并重复上述计算。

根据本发明的一些优选实施方面，所述放射性金属材料的接触剂量率大于 0.5 mSv/h。

根据本发明的一些优选实施方面，进行光谱采集时，所述激光诱导击穿光谱装置与放射性金属材料之间的距离为 3.5-7m。

根据本发明的一些优选实施方面，进行光谱采集时，针对每一种放射性金属材料的采集次数至少为 10 次。

由于采用了以上的技术方案，相较于现有技术，本发明的有益之处在于：本发明的核电站放射性金属材料牌号的识别方法，实现了不依赖于成分分析的金属材料牌号快速评估，评估速度快，评估精度高。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为实施例中 Z2CN19.10 材料（1910-9）与放射性金属材料（1-1-7）的平均光谱信息的对比图。

具体实施方式

为了使本技术领域的人员更好地理解本发明的技术方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本发明保护的范围。

本实施例的核电站放射性金属材料牌号的识别方法，具体包括如下步骤：

S1：已知牌号的金属材料的光谱采集

采用远程激光诱导击穿光谱装置在 3.5-7m 的距离内对若干已知牌号的金属材料进行光谱采集，得到若干已知牌号材料的平均光谱信息，并形成数据库。

平均光谱信息包括波长 λ 、强度 H 、数据点数 N 。波长分辨率小于 0.07 nm，波

长范围为 180 nm-1015 nm，数据点数 N 大于 7000。

针对每一种已知牌号材料的采集次数至少为 10 次。

S2: 目标放射性金属材料的光谱采集

采用远程激光诱导击穿光谱装置在 3.5-7m 的距离内对放射性金属材料进行光谱采集，获得其平均光谱信息。放射性金属材料的接触剂量率大于 0.5 mSv/h。

平均光谱信息包括波长 λ 和强度 H ，数据点数 N 。波长分辨率小于 0.07 nm，波长范围为 180 nm-1015 nm，数据点数 N 大于 7000。

针对每一种放射性金属材料的采集次数为 10 次。平均光谱信息的计算方法为：

对每一个波长的光谱强度进行平均，即 $\frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} H_i$ 。

S3: 相似度计算

将放射性金属材料的光谱信息与某一已知牌号材料的光谱进行相似度计算，获得复合相似度。

相似度计算方法包括以下步骤：

S3-1: 计算全波长范围相似度 $r = \frac{N \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$;

S3-2: 计算 225 nm-325 nm 波长范围相似度 $r_1 = \frac{N_1 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_1 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_1 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$,

N_1 是 225 nm-325 nm 波长范围数据点数；

S3-3: 计算 335 nm-450 nm 波长范围相似度 $r_2 = \frac{N_2 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_2 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_2 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$,

N_2 是 335 nm-450 nm 波长范围数据点数；

S3-4: 计算 450 nm-600 nm 波长范围相似度 $r_3 = \frac{N_3 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_3 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_3 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$,

N_3 是 450 nm-600 nm 波长范围数据点数；

S3-5: 计算复合相似度: $S = X_1 r_1 + X_2 r_2 + X_3 r_3 + X r$

$X_1 + X_2 + X_3 + X = 1$ ，其中， X 取 0.2-0.25， X_1 取 0.3-0.4， X_2 取 0.25-0.3， X_3 取 0.15-0.2。

在理想条件下，两个相同的材料在全波长的范围内应该高度相似，即 $S=1$ 。但实际上在测量过程中，由于材料表面状态（如腐蚀等）的不同，以及测试信号的随机

性，不可能保证全波长范围的相似。而 225 nm-325 nm 特征谱线最多，信息最为丰富，该波长范围内相似度给予较重要的权重，225 nm-450 nm、450 nm-600 nm 特征谱线和重要性相对下降，相似度给予相对低的权重。

S3：根据复合相似度确定放射性金属材料的牌号

若放射性金属材料与设定已知牌号材料复合相似度 ≥ 0.910 ，则放射性金属材料为该设定已知牌号材料；若放射性金属材料与设定已知牌号材料复合相似度小于 0.910，则更换设定的已知牌号材料，并重复上述计算，直至放射性金属材料与选取的已知牌号材料复合相似度 ≥ 0.910 。

以下以某一核电厂堆芯异物（1-1-7）材料牌号的识别为例，具体说明本发明的核电站放射性金属材料牌号的识别方法，具体包括如下步骤：

S1：Z2CN19.10 材料的光谱采集

采用远程激光诱导击穿光谱装置在 3.5-7m 的距离内对若干已知牌号的金属材料进行光谱采集，得到若干已知牌号材料的平均光谱信息，并形成数据库。其中包括了对 Z2CN19.10 材料进行光谱采集，得到其平均光谱信息（1910-9）。

S2：目标高放射性金属材料的光谱采集

采用远程激光诱导击穿光谱装置在 3.5-7m 的距离内对高放射性金属材料进行光谱采集，获得其平均光谱信息（1-1-7）。图 1 所示为 Z2CN19.10 材料（1910-9）与放射性金属材料（1-1-7）的平均光谱信息的比对图。

S3：相似度计算

将高放射性金属材料的光谱信息与 Z2CN19.10 材料的光谱进行相似度计算，获得复合相似度。

相似度计算方法包括以下步骤：

$$S3-1：\text{计算全波长范围相似度 } r = \frac{N \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}} = 0.90993,$$

$N=7485$;

S3-2：计算 225 nm-325 nm 波长范围相似度

$$r_1 = \frac{N_1 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_1 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_1 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}} = 0.96276, N_1 \text{ 是 } 225 \text{ nm-} 325 \text{ nm 波长范围数据点数}$$

$=1663$;

S3-3：计算 335 nm-450 nm 波长范围相似度

$r_2 = \frac{N_2 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_2 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_2 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}} = 0.93761$, N_2 是335 nm-450 nm波长范围数据点数=2224;

S3-4 : 计 算 450 nm-600 nm 波 长 范 围 相 似 度

$r_3 = \frac{N_3 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_3 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_3 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}} = 0.96611$, N_3 是450 nm-600 nm波长范围数据点数=1201;

S3-5 : 计 算 复 合 相 似 度 : $S = X_1 r_1 + X_2 r_2 + X_3 r_3 + X_r = 0.4 \times 0.96276 + 0.25 \times 0.93761 + 0.15 \times 0.96611 + 0.2 \times 0.90993 = 0.9464$

$X_1 + X_2 + X_3 + X = 1$, 其中, X 取 0.2, X_1 取 0.4, X_2 取 0.25, X_3 取 0.15。

S3: 根据复合相似度确定高放射性金属材料的牌号

高放射性金属材料与 Z2CN19.10 材料复合相似度 ≥ 0.910 , 因此该高放射性金属材料为 Z2CN19.10。

上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点, 其目的在于让熟悉此项技术的人士能够了解本发明的内容并据以实施, 并不能以此限制本发明的保护范围。凡根据本发明精神实质所作的等效变化或修饰, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种核电站放射性金属材料牌号的识别方法，其特征在于，包括如下步骤：

S1：采用激光诱导击穿光谱装置对放射性金属材料进行光谱采集，获得该放射性金属材料的平均光谱信息；

S2：将获得的放射性金属材料的平均光谱信息与选定的已知牌号材料的光谱进行相似度计算，获得复合相似度；

S3：根据复合相似度确定放射性金属材料的牌号。

2. 根据权利要求1所述的识别方法，其特征在于，所述的平均光谱信息包括波长 λ 、强度 H 和数据点数 N 。

3. 根据权利要求2所述的识别方法，其特征在于，所述的波长分辨率小于0.07 nm，波长范围为180 nm-1015 nm，数据点数 N 大于7000。

4. 根据权利要求2所述的识别方法，其特征在于，所述的平均光谱信息的计算方法为：对每一个波长的光谱强度进行平均，即 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$ ， n 为采集次数。

5. 根据权利要求2所述的识别方法，其特征在于，所述相似度的计算包括以下步骤：

1)：计算全波长范围内的相似度 $r = \frac{N \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ；

2)：计算225 nm-325 nm波长范围内的相似度 $r_1 = \frac{N_1 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_1 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_1 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ， N_1 是225 nm-325 nm波长范围数据点数；

3)：计算335 nm-450 nm波长范围内的相似度 $r_2 = \frac{N_2 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_2 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_2 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ， N_2 是335 nm-450 nm波长范围数据点数；

4)：计算450 nm-600 nm波长范围内的相似度 $r_3 = \frac{N_3 \sum \lambda_i H_i - \sum \lambda_i \sum H_i}{\sqrt{N_3 \sum \lambda_i^2 - (\sum \lambda_i)^2} \sqrt{N_3 \sum H_i^2 - (\sum H_i)^2}}$ ， N_3 是450 nm-600 nm波长范围数据点数；

5)：计算复合相似度： $S = X_1 r_1 + X_2 r_2 + X_3 r_3 + X r$ 。

6. 根据权利要求5所述的识别方法，其特征在于，所述复合相似度的计算中， $X_1 + X_2 + X_3 + X = 1$ ，其中， X 取0.2-0.25， X_1 取0.3-0.4， X_2 取0.25-0.3， X_3 取0.15-0.2。

7. 根据权利要求1所述的识别方法，其特征在于，根据复合相似度确定放射性

金属材料的牌号方法为：若放射性金属材料与选定的已知牌号材料复合相似度 ≥ 0.910 ，则放射性金属材料为该选定的设定已知牌号材料；若放射性金属材料与选定的已知牌号材料复合相似度小于 0.910，则更换选定的已知牌号材料，并重复上述计算。

8. 根据权利要求 1 所述的识别方法，其特征在于，所述放射性金属材料的接触剂量率大于 0.5 mSv/h。

9. 根据权利要求 1 所述的识别方法，其特征在于，进行光谱采集时，所述激光诱导击穿光谱装置与放射性金属材料之间的距离为 3.5-7m。

10. 根据权利要求 1 所述的识别方法，其特征在于，进行光谱采集时，针对每一种放射性金属材料的采集次数至少为 10 次。

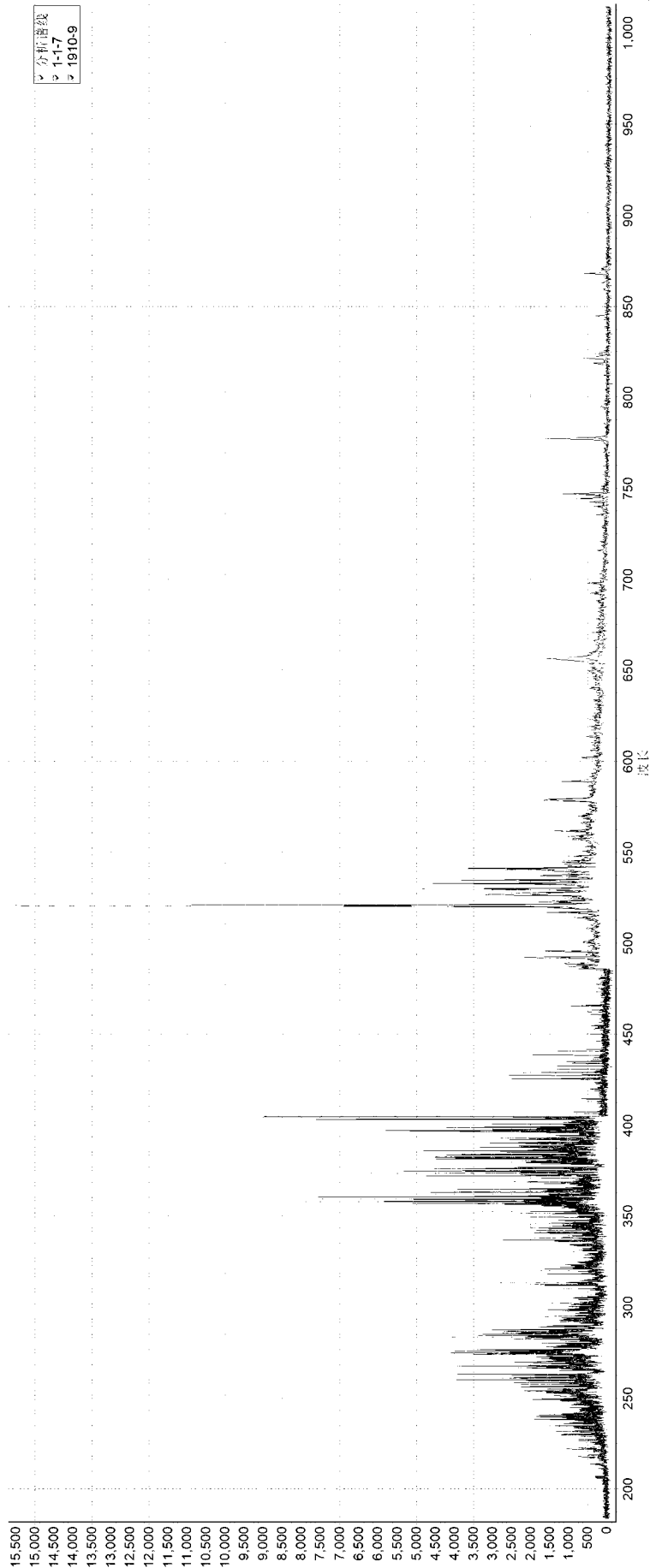


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/143326

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/71(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)

IPC: G01N 21/-

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)

CNTXT, ENTXTC, VEN, CNKI, WEB OF SCIENCE: 激光诱导击穿, LIBS, 放射性, 核, 光谱, 相似, laser induced breakdown, spectr+, radioactive, nuclear, similarit

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 110793959 A (SHENYANG INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 14 February 2020 (2020-02-14) description, paragraphs 0008-0034, and figures 2-3	1-10
Y	CN 108780047 A (CLOUDMINDS (SHENZHEN) HOLDINGS CO., LTD.) 09 November 2018 (2018-11-09) description, paragraphs 0002-0003 and 0020-0021	1-10
Y	CN 109883960 A (HENAN UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY) 14 June 2019 (2019-06-14) description, paragraphs 0027-0028	1-10
Y	CN 108226092 A (GUANGZHOU SONDON NETWORK & TECHNOLOGY CO., LTD.) 29 June 2018 (2018-06-29) description, paragraphs 0027-0050	1-10
A	CN 103076310 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 01 May 2013 (2013-05-01) entire document	1-10
A	CN 103487411 A (NORTHWESTERN UNIVERSITY) 01 January 2014 (2014-01-01) entire document	1-10



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

01 August 2024

Date of mailing of the international search report

01 August 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/143326**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108169213 A (JIANGNAN UNIVERSITY) 15 June 2018 (2018-06-15) entire document	1-10
A	CN 113176225 A (SHENZHEN GUOKE SPECTRUM TECHNOLOGY CO., LTD.) 27 July 2021 (2021-07-27) entire document	1-10
A	US 5751416 A (MISSISSIPPI STATE UNIVERSITY) 12 May 1998 (1998-05-12) entire document	1-10
A	US 6034768 A (PHYSICAL SCIENCES INC.) 07 March 2000 (2000-03-07) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/143326

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110793959	A	14 February 2020	None			
CN	108780047	A	09 November 2018	WO	2019196107	A1	17 October 2019
CN	109883960	A	14 June 2019	None			
CN	108226092	A	29 June 2018	None			
CN	103076310	A	01 May 2013	None			
CN	103487411	A	01 January 2014	None			
CN	108169213	A	15 June 2018	None			
CN	113176225	A	27 July 2021	None			
US	5751416	A	12 May 1998	None			
US	6034768	A	07 March 2000	WO	9915865	A1	01 April 1999
				WO	9915865	A9	01 July 1999

A. 主题的分类

G01N21/71(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)

IPC: G01N 21/-

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))

CNTEXT,ENTXTC,VEN,CNKI,WEB OF SCIENCE: 激光诱导击穿, LIBS, 放射性, 核, 光谱, 相似, laser induced breakdown, spectr+, radioactive, nuclear, similarity

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
Y	CN 110793959 A (中国科学院沈阳自动化研究所) 2020年2月14日 (2020 - 02 - 14) 说明书0008-0034段, 图2-3	1-10
Y	CN 108780047 A (深圳达闼科技控股有限公司) 2018年11月9日 (2018 - 11 - 09) 说明书0002-0003、0020-0021段	1-10
Y	CN 109883960 A (河南科技大学) 2019年6月14日 (2019 - 06 - 14) 说明书0027-0028段	1-10
Y	CN 108226092 A (广州讯动网络科技有限公司) 2018年6月29日 (2018 - 06 - 29) 说明书0027-0050段	1-10
A	CN 103076310 A (深圳大学) 2013年5月1日 (2013 - 05 - 01) 全文	1-10
A	CN 103487411 A (西北大学) 2014年1月1日 (2014 - 01 - 01) 全文	1-10
A	CN 108169213 A (江南大学) 2018年6月15日 (2018 - 06 - 15) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

★ 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

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“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

2024年8月1日

国际检索报告邮寄日期

2024年8月1日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

周宏卉

电话号码 (+86) 62089913

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

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	CN 113176225 A (深圳市国科光谱技术有限公司) 2021年7月27日 (2021 - 07 - 27) 全文	1-10
A	US 5751416 A (UNIV MISSISSIPPI) 1998年5月12日 (1998 - 05 - 12) 全文	1-10
A	US 6034768 A (PHYSICAL SCIENCES INC) 2000年3月7日 (2000 - 03 - 07) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/143326

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	110793959	A	2020年2月14日	无	
CN	108780047	A	2018年11月9日	WO 2019196107 A1	2019年10月17日
CN	109883960	A	2019年6月14日	无	
CN	108226092	A	2018年6月29日	无	
CN	103076310	A	2013年5月1日	无	
CN	103487411	A	2014年1月1日	无	
CN	108169213	A	2018年6月15日	无	
CN	113176225	A	2021年7月27日	无	
US	5751416	A	1998年5月12日	无	
US	6034768	A	2000年3月7日	WO 9915865 A1	1999年4月1日
				WO 9915865 A9	1999年7月1日