

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 681 735 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

02.04.1997 Bulletin 1997/14

(51) Int Cl.⁶: **G21F 9/00, G21F 9/30**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR94/00089

(21) Numéro de dépôt: **94905154.4**

WO 94/17529 (04.08.1994 Gazette 1994/18)

(22) Date de dépôt: **25.01.1994**

(54) PROCÉDES ET INSTALLATIONS DE DECONTAMINATION D'UNE SURFACE RADIOACTIVE AU MOYEN D'UN FAISCEAU DE LUMIERE COHERENTE

DEKONTAMINIERUNGSVERFAHREN UND EINRICHTUNGEN EINER RADIOAKTIVEN
OBERFLÄCHE MITTELS EINES KOHERENTEN LICHTBUNDELS

METHODS AND EQUIPMENTS FOR DECONTAMINATING A RADIOACTIVE SURFACE WITH A
COHERENTLIGHT BEAM

(84) Etats contractants désignés:
BE CH DE ES GB LI

(30) Priorité: **26.01.1993 FR 9300723**

(43) Date de publication de la demande:
15.11.1995 Bulletin 1995/46

(73) Titulaire: **COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE
75752 Paris Cédex 15 (FR)**

(72) Inventeurs:

- **GAUCHON, Jean-Paul**
F-84120 Pertuis (FR)
- **BOURNOT, Philippe**
F-13730 Saint-Victoret (FR)
- **CAMINAT, Philippe, Cité Burel - Bat. 13 à 24**
F-13014 Marseille (FR)
- **DUPONT, Arnaud**
F-69003 Lyon (FR)

(74) Mandataire: **Poulin, Gérard et al**
Société BREVATOME
25, rue de Ponthieu
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:

EP-A- 0 091 646 FR-A- 2 300 632

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 009, no. 176 (M-398)20 Juillet 1985 & JP,A,60 046 893 (SUWA SEIKOSHA) 13 Mars 1985**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 004, no. 129 (C-024)10 Septembre 1980 & JP,A,55 082 780 (HASE FUMIO) 21 Juin 1980**
- **MICROELECTRONIC ENGINEERING vol. 17, no. 1-4 , 1992 , PAYS-BAS pages 473 - 477 ZAPKA ET AL. 'LIQUID FILM ENHANCED LASER CLEANING'**
- **FICHER INSPEC (LONDRES GB) AN. 4171325 "LASER-CLEANING TECHNIQUES FOR REMOVAL OF SURFACE PARTICULATES.**
- **FICHER INSPEC (LONDRES GB) AN. 4171325 "LASER-CLEANING TECHNIQUES FOR REMOVAL OF SURFACE PARTICULATES" & JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 01.04.1992, vol. 71, NR 7, P.3515-3523, TAM ET AL.**

EP 0 681 735 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

L'invention concerne principalement un procédé permettant de décontaminer une surface radioactive en effectuant un balayage de cette surface au moyen d'un faisceau de lumière cohérente focalisé. L'invention concerne également des installations mettant en oeuvre ce procédé.

Dans l'industrie nucléaire, la contamination de la surface des pièces par des éléments radioactifs pose un problème constant. En effet, les rayonnements nocifs de ces éléments radioactifs compliquent l'intervention humaine sur ces pièces elles-mêmes et dans leur voisinage. Pour faciliter cette intervention, on procède donc le plus souvent à une décontamination préalable des surfaces des pièces métalliques contaminées.

La contamination superficielle des pièces métalliques par des éléments radioactifs se manifeste par la présence d'éléments radioactifs dans la couche d'oxyde métallique qui se forme à la surface de ces pièces. L'épaisseur de cette couche superficielle contaminée est généralement comprise entre $1\mu\text{m}$ et $10\mu\text{m}$. La décontamination de ces surfaces a donc pour objectif l'élimination de la fine couche superficielle qui recouvre la surface des pièces.

Il existe déjà de nombreux procédés pour décontaminer des surfaces radioactives.

Une première famille de procédés connue consiste à décontaminer la surface en attaquant la couche superficielle déposée sur celle-ci au moyen d'un agent chimique qui peut notamment se présenter sous la forme d'acides, de bases, de gels oxydants, etc. A titre d'exemple, le document FR-A-2 656 949 illustre l'utilisation d'un gel oxydant.

Il est également connu de décontaminer des surfaces radioactives par des techniques hydromécaniques. Parmi ces techniques, on citera à titre d'exemple, l'utilisation de jets d'eau ou de glaçons à haute pression, ainsi que l'utilisation des ultrasons qui se propagent jusqu'à la surface à décontaminer au travers d'un liquide.

Cependant, ces techniques chimiques et hydromécaniques nécessitent le plus souvent une manipulation préliminaire des pièces à traiter telle que leur démontage, leur mise au gabarit, etc. Comme l'illustre notamment le document EP-A-091 646, il a aussi été proposé de décontaminer une surface radioactive au moyen d'un faisceau de lumière cohérente que l'on focalise sur la surface. Cependant, l'interaction du faisceau de lumière cohérente avec une surface métallique conduit à des effets (photothermiques, photoablatifs, etc.) qui ne permettent qu'une décontamination partielle. En outre, les effets thermiques du faisceau de lumière cohérente créent une zone fondue sur la surface métallique ainsi que des aérosols radioactifs dont une partie se redépote et diffuse au sein de la zone fondue. Pour limiter la redéposition des aérosols radioactifs, on a coutume d'utiliser des moyens de soufflage et/ou d'aspiration d'air. Toutefois, la contamination résiduelle reste élevée.

Dans l'industrie électronique, le document "Patent Abstract of Japan", vol 004, n° 129 (C-024), qui correspond au document JP-A-55 082 780, propose de placer un objet tel qu'un semi-conducteur dans une enceinte fermée, de faire circuler dans cette enceinte un gaz ou un liquide halogène apte à transmettre la lumière et à provoquer une décomposition thermique au-delà d'un certain seuil de température, et à procéder au nettoyage, puis à la décomposition thermique de la surface de l'objet en la bombardant à l'aide d'un faisceau laser.

Le document "Patent Abstract of Japan", vol. 009, n° 176 (M-398), qui correspond au document JP-A-60 046893, concerne également le traitement d'un substrat semi-conducteur par un faisceau laser. Afin que les parties du substrat détachées par fusion ne viennent pas se recoller sur ce substrat, celui-ci est placé dans un liquide tel que de l'eau, apte à refroidir rapidement les parties fondues du substrat.

L'article "Liquid Film Enhanced Laser Cleaning" de W. Zapka et al., dans la revue "Microelectronic Engineering" vol. 17, 1992, pages 473-477, décrit également une technique de nettoyage d'un substrat semiconducteur, à l'aide d'un laser pulsé. L'installation comprend une buse permettant d'envoyer de l'eau sur la zone d'impact du faisceau laser.

L'invention a précisément pour objet un nouveau procédé de décontamination d'une surface radioactive au moyen d'un faisceau de lumière cohérente focalisé, dont la conception originale lui permet de faire pratiquement disparaître la redéposition des aérosols radioactifs qui se forment lorsque le faisceau de lumière cohérente frappe la surface à décontaminer, de façon à réduire considérablement la contamination résiduelle de cette surface.

Selon l'invention, ce résultat est obtenu au moyen d'un procédé de décontamination d'une surface radioactive, par balayage de cette surface au moyen d'un faisceau de lumière cohérente focalisée, dans lequel on procède au balayage de la surface par le faisceau en présence d'un liquide sur toute la surface à décontaminer.

En effet, on a découvert que la présence d'un liquide sur la surface soumise à l'action du faisceau de lumière cohérente atténue l'effet thermique et fait pratiquement disparaître le phénomène de redéposition des aérosols radioactifs produits par l'action du faisceau sur la surface. La contamination résiduelle est donc extrêmement réduite, ce qui n'était pas le cas lorsqu'on utilisait simplement un faisceau de lumière cohérente associé à des moyens de soufflage et/ou d'aspiration d'air.

Selon les caractéristiques propres à la surface que l'on désire décontaminer, le liquide peut être présent sur cette surface, soit sous la forme d'un film que l'on fait ruisseler sur la surface tout en procédant au balayage de cette surface par le faisceau, soit sous la forme d'un volume de liquide remplissant un récipient dont la surface intérieure constitue la surface à décontaminer. Dans ce dernier cas, le remplissage du récipient est effectué avant que l'on procède au balayage de la surface par le faisceau.

Dans une mise en oeuvre préférentielle du procédé conforme à l'invention, on procède au recyclage et au filtrage du liquide lors du balayage de la surface à décontaminer.

Le liquide utilisé peut être simplement constitué par de l'eau. Cependant, on utilisera avantageusement une solution aqueuse chargée en réactif chimique. En effet, l'efficacité de la décontamination peut encore être améliorée par un choix judicieux de ce réactif chimique en fonction de la nature du métal dans lequel est réalisée la pièce dont on désire décontaminer la surface et de la nature des éléments radioactifs déposés sur cette surface. Ce réactif chimique peut notamment être de l'acide nitrique, à une concentration d'environ 5 moles/l.

Par ailleurs, la longueur d'onde du faisceau de lumière cohérente utilisée est de préférence de 248 nm, 308 nm, 532 nm ou 1064 nm.

L'invention a aussi pour objet différents types d'installations permettant de mettre en oeuvre le procédé défini précédemment.

Ainsi, lorsque la surface à décontaminer n'est pas une surface horizontale et comporte un bord supérieur et un bord inférieur, il est proposé une installation de décontamination comprenant une source de lumière cohérente, ainsi que des moyens pour diriger et focaliser un faisceau de lumière cohérente émis par cette source sur la surface à décontaminer, de façon à permettre un balayage de cette surface par le faisceau, caractérisée par le fait qu'elle comprend de plus des moyens pour faire ruisseler un film de liquide sur toute la surface à décontaminer, lors du balayage de cette surface.

Dans ce cas, les moyens pour faire ruisseler un film de liquide sur la surface à décontaminer comprennent avantageusement une rampe d'aspersion cheminant sur toute la longueur du bord supérieur de la surface, un bac de rétention placé en dessous du bord inférieur de la surface, et un circuit de recyclage reliant le bac de rétention à la rampe d'aspersion, ce circuit de recyclage incluant des moyens de pompage et des moyens de filtrage du liquide.

Lorsque la surface à décontaminer forme une surface intérieure d'un récipient, il est proposé une installation de décontamination comprenant une source de lumière cohérente, ainsi que des moyens pour diriger et focaliser un faisceau de lumière cohérente émis par cette source sur la surface à décontaminer, de façon à permettre un balayage de cette surface par le faisceau, caractérisé par le fait qu'elle comprend de plus un circuit de recyclage d'un liquide contenu dans le récipient lors du balayage de la surface à décontaminer, ce circuit de recyclage incluant des moyens de pompage et des moyens de filtrage du liquide.

Dans ce cas, les moyens pour diriger et focaliser le faisceau sur la surface à décontaminer portent avantageusement à leur extrémité un boîtier ouvert vers cette surface et le circuit de recyclage prélève le liquide dans ce boîtier et le rejette dans le récipient.

On décrira à présent, à titre d'exemples non limitatifs, deux installations de décontamination mettant en oeuvre le procédé conforme à l'invention, en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement une installation permettant de décontaminer une surface plane inclinée au moyen d'un faisceau de lumière cohérente focalisé sur cette surface, tout en faisant ruisseler un film de liquide sur la totalité de la surface à décontaminer ; et
- la figure 2 représente schématiquement une installation permettant de décontaminer la surface intérieure d'une piscine remplie de liquide, au moyen d'un faisceau de lumière cohérente.

Sur la figure 1, la référence 10 désigne la surface à décontaminer. Dans l'exemple représenté, cette surface est une surface plane qui est inclinée par rapport à l'horizontale, de façon à présenter un bord supérieur 10a et un bord inférieur 10b. Cet exemple ne doit pas être considéré comme limitatif et on comprendra aisément qu'une installation comparable à celle qui va être décrite pourrait être utilisée pour décontaminer une surface de forme et/ou d'orientation différentes. En effet, la surface à décontaminer peut être orientée soit selon une direction inclinée par rapport à l'horizontale comme cela est illustré sur la figure 1, soit selon une direction verticale. De même, la surface à décontaminer peut être plane, cylindrique ou autre. Ainsi, une installation comparable à celle qui est illustrée sur la figure 1 pourrait être utilisée pour décontaminer la surface intérieure d'une tuyauterie d'axe vertical.

L'installation de décontamination illustrée schématiquement sur la figure 1 comprend tout d'abord une source 12 de lumière cohérente, constituée par exemple par un laser impulsif de type YAG, éventuellement équipé d'un doubleur. Lorsqu'elle est actionnée, la source 12 de lumière cohérente émet un faisceau de lumière cohérente dont la longueur d'onde est, de préférence, de 248 nm, 308 nm, 532 nm ou 1064 nm.

La source 12 de lumière cohérente est orientée de telle sorte que le faisceau émis par cette source soit dirigé verticalement vers le bas dans un tube télescopique étanche 14 formant guide d'onde. L'extrémité inférieure de ce tube 14 est prolongée par un coude 16 à 90°, dans lequel le faisceau de lumière cohérente est dévié par un miroir 18. La branche horizontale du coude 16 est fermée à son extrémité par une lentille étanche 20, au travers de laquelle un faisceau de lumière cohérente focalisé 21 est dirigé vers la surface 10.

Le tube télescopique étanche 14 peut tourner autour de son axe comme l'illustre schématiquement la flèche F1 sur la figure 1. La variation de sa longueur, illustrée par la flèche F2, permet, quant à elle, de faire varier le niveau du

faisceau de lumière focalisé sortant de la lentille 20. Les deux mouvements illustrés par les flèches F1 et F2 permettent au faisceau de lumière cohérente sortant de la lentille 20 de balayer la totalité de la surface 10 à décontaminer. Avantageusement, ces mouvements sont commandés par des moteurs asservis à une unité de commande programmable, de telle sorte que le balayage de la surface puisse être effectué d'une manière automatisée.

Les différents moyens pour réaliser le balayage de la surface à décontaminer à l'aide d'un faisceau de lumière cohérente dépendent de la forme et de l'orientation de cette surface et pourraient être différents de ceux qui viennent d'être décrits brièvement. Dans tous les cas, ces moyens appartiennent à une technologie bien connue qui ne sera pas décrite en détail.

L'installation de décontamination illustrée sur la figure 1 comprend de plus des moyens pour faire ruisseler un film de liquide sur la surface 10 à décontaminer, lors du balayage de cette surface par le faisceau de lumière cohérente.

Sur la figure 1, ces moyens sont désignés de façon générale par la référence 22. Ils comprennent une rampe d'aspersion 24 placée au-dessus du bord supérieur 10a de la surface 10 à décontaminer et s'étendant sur toute la longueur de ce bord. Cette rampe d'aspersion 24 est alimentée en liquide par un circuit de recyclage 26.

De façon plus précise, le circuit de recyclage 26 fait communiquer la rampe d'aspersion 24 avec le fond d'un bac de rétention 28 placé en dessous du bord inférieur 10b de la surface 10 à décontaminer. Une pompe 30 placée dans le circuit 26 permet d'acheminer le liquide 29 présent dans le bac de rétention 28 jusqu'à la rampe d'aspersion 24. Le circuit de recyclage 26 comporte également un filtre 32 qui retient les éléments radioactifs décollés de la surface par le faisceau de lumière cohérente, de telle sorte que le liquide qui ruisselle sur la surface 10 à décontaminer depuis la rampe d'aspersion 24 soit dépourvu d'éléments radioactifs.

Il est à noter qu'avant la mise en route de la pompe 30, le bac de rétention 28 contient une quantité de liquide 29 suffisante pour que la surface 10 à décontaminer soit recouverte en totalité d'un film de liquide lorsque la pompe est actionnée. Comme on le verra plus en détail par la suite, le liquide utilisé peut être soit de l'eau pure, soit une solution aqueuse chargée d'un réactif chimique tel que de l'acide nitrique ou un mélange d'acide citrique et oxalique.

Pendant toute la durée du balayage de la surface 10 à décontaminer par le faisceau de lumière cohérente en provenance de la source 12, la pompe 30 est actionnée de telle sorte qu'un film de liquide 29 ruisselle sur toute la surface 10. Par conséquent, la couche radioactive superficielle arrachée de la surface 10 par l'action du faisceau de lumière cohérente ne se redépote pas sur cette surface, mais se trouve entraînée par le liquide 29 dans le bac de rétention 28. Lorsque ce liquide est repris dans le bac par la pompe 30 pour être renvoyé vers la rampe d'aspersion 24, il est débarrassé par le filtre 32 des éléments radioactifs arrachés à la surface. Le film de liquide qui ruisselle en permanence sur cette dernière présente donc pendant toute la durée du balayage une composition sensiblement uniforme.

On décrira à présent en se référant à la figure 2 une autre installation de décontamination mettant en oeuvre le procédé conforme à l'invention.

Pour faciliter la compréhension, les éléments de l'installation de la figure 2, comparables aux éléments de l'installation de la figure 1 sont désignés par les mêmes chiffres de référence.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 2, l'installation représentée est conçue pour décontaminer les surfaces intérieures 10 d'une piscine 11 de déchargement ou de stockage de combustible nucléaire, c'est-à-dire, aussi bien le fond que les parois verticales de cette piscine. Il est à noter cependant qu'une installation comparable à celle qui est illustrée sur cette figure peut être utilisée pour décontaminer les surfaces intérieures d'un récipient de forme et de fonction différentes, dans la mesure où ce récipient peut être rempli d'un liquide permettant de recouvrir en totalité la surface intérieure à décontaminer. Ainsi, et uniquement à titre d'exemple, une installation comparable à l'installation représentée sur la figure 2, peut être utilisée pour décontaminer les surfaces intérieures d'une boîte à eau d'un générateur de vapeur servant à assurer le transfert thermique entre l'eau du circuit primaire et l'eau du circuit secondaire dans un réacteur à eau pressurisée.

Comme dans l'installation de la figure 1, l'installation illustrée sur la figure 2 comprend une source 12 de lumière cohérente constituée par un laser impulsionnel tel qu'un laser YAG. Cette source 12 envoie vers le bas et selon une direction verticale un faisceau de lumière cohérente dans un tube télescopique étanche 14 formant guide d'onde. Un coude 16 à angle droit est placé dans le bas du tube télescopique 14, de façon à renvoyer le faisceau selon une direction horizontale vers les parois latérales de la piscine, sous l'action d'un miroir 18 placé dans le coude 16. L'extrémité ouverte de la branche horizontale du coude 16 est munie d'une lentille étanche 20 qui dirige un faisceau de lumière cohérente focalisé 21 vers la paroi latérale de la piscine.

Le caractère télescopique du tube 14 (flèche F2), associé à un degré de liberté de rotation (flèche F1) de ce tube autour de son axe, permettent d'effectuer un balayage des parois latérales de la piscine. De préférence, ce balayage est programmé et réalisé de manière automatique par des systèmes de motorisation non illustrés sur la figure 2. Les deux degrés de liberté précités peuvent éventuellement être complétés par un ou plusieurs degrés de liberté supplémentaires, par exemple en plaçant la source 12 sur un chariot apte à se déplacer dans un plan horizontal selon deux directions orthogonales parallèles aux parois latérales de la piscine. Comme on l'a déjà indiqué à propos de l'installation illustrée sur la figure 1, les techniques permettant d'effectuer le balayage des surfaces à décontaminer sont bien con-

nues, de telle sorte qu'il n'en est fait aucune description détaillée.

Afin que le faisceau de lumière cohérente délivré par la source 12 puisse également effectuer la décontamination du fond sensiblement horizontal de la piscine, on peut notamment démonter le coude 16 et monter la lentille étanche 20 directement à l'extrémité inférieure du tube télescopique vertical 14. On peut aussi envisager d'utiliser un coude 16 articulé, équipé d'un miroir 18 escamotable, permettant d'amener la branche horizontale du coude 16 dans une position verticale, pour décontaminer directement le fond de la piscine.

Dans l'installation illustrée sur la figure 2, la présence de liquide sur les surfaces intérieures 10 de la piscine est obtenue directement en remplissant cette piscine de liquide 29 dont la nature peut être la même que dans l'installation de la figure 1.

Compte tenu du volume important de la piscine, il est intéressant de confiner le volume de liquide qui se trouve à proximité immédiate de la surface 10 en cours de traitement par le faisceau de lumière cohérente. A cet effet, on fixe à l'extrémité de la branche horizontale du coude 16 un boîtier 36 étanche, mais dont la face tournée vers la surface 10 en cours de traitement est ouverte.

La présence du boîtier 36 permet d'effectuer un recyclage du liquide qui se trouve à proximité immédiate de la partie de la surface 10 en cours de décontamination. A cet effet, l'installation comprend un circuit de recyclage 26 dont une extrémité est raccordée sur le boîtier 36, de façon à prélever le liquide à l'intérieur de ce dernier. Ce circuit de recyclage comporte une pompe 30 qui recycle le liquide 29 dans un filtre 32, avant de le rejeter directement dans la piscine 11.

On réalise ainsi le maintien d'un volume de liquide sensiblement constant dans la piscine, tout en extrayant de ce liquide les éléments radioactifs qui sont arrachés de la surface 10 par le faisceau de lumière cohérente.

Lorsqu'une installation comparable à celle de la figure 2 est utilisée pour décontaminer les surfaces intérieures d'un récipient de dimensions et de formes différentes, certaines des caractéristiques qui viennent d'être décrites peuvent être modifiées ou supprimées. Ainsi, lorsqu'une installation de ce type est utilisée pour décontaminer les surfaces intérieures d'une boîte à eau de générateur de vapeur, le volume intérieur de cette boîte à eau est suffisamment faible pour que le boîtier 36 puisse être supprimé. Les deux extrémités du circuit de recyclage 26 débouchent alors directement dans la boîte à eau. Par ailleurs, les trous d'homme permettant d'accéder à la boîte à eau étant située sur la paroi hémisphérique inférieure de cette dernière, le circuit de recyclage 26, comme le tube télescopique 14 doivent traverser ce trou d'homme, ce qui signifie que le faisceau de lumière cohérente est alors orienté vers le haut.

Différentes expérimentations ont été effectuées afin de contrôler l'efficacité du procédé de décontamination selon l'invention dans des conditions permettant notamment de mettre en évidence les influences respectives de la longueur d'onde du rayon laser utilisé, du matériau dont on désire décontaminer la surface et de la nature des éléments radioactifs déposés sur cette surface. Etant donné que ces expériences ont toutes été effectuées à la fois avec un faisceau de lumière cohérente associé à un système d'aspiration d'air et avec un faisceau de lumière cohérente associé à un film liquide ruisselant sur la surface, pour différentes compositions de liquide, elles permettent également de mettre en évidence les avantages essentiels procurés par l'invention ainsi que l'influence de la nature du liquide utilisé sur la qualité de la décontamination. Les résultats de ces différents essais sont illustrés par des tableaux qui vont à présent être explicités et commentés.

Le tableau A donne une estimation des profondeurs moyennes d'ablation (en μm) par impulsion, lorsqu'on fait agir des faisceaux laser présentant différentes longueurs d'onde sur de l'acier AISI 304 respectivement sous air et sous eau.

TABLEAU A

longueur d'onde du rayon laser (nm)	Densité d'énergie par impulsion (J/cm ²)	Profondeur d'ablation par impulsion (μm)		
		AIR Moy.s/50 impulsions	EAU Moy.s/10 impulsions	EAU Moy.s/50 impulsions
248	20	0,24	1,3	0,8
308	5	0,3	2,5	1,4
532	28	0,1	1,5	0,9
1064	8,5	0,1	2,5	1,6

On observe tout d'abord sur le Tableau A que la profondeur d'ablation par impulsion est sensiblement plus importante sous ruissellement d'eau que dans l'air, le gain apporté par le procédé conforme à l'invention étant variable selon la longueur d'onde du faisceau laser. Ainsi, la profondeur d'ablation est seulement multipliée d'un facteur d'environ 3,5 dans l'ultraviolet, alors qu'elle est multipliée par un facteur 16 dans le proche infrarouge.

On observe également sur ce Tableau A que, sous film d'eau, la profondeur d'ablation par impulsion est plus

EP 0 681 735 B1

importante pour les premières impulsions qui agissent d'abord sur la couche d'oxydes superficielle déposée sur le matériau de base.

On observe enfin sur le Tableau A que ce sont les longueurs d'onde de 308 nm et 1064 nm qui autorisent l'ablation aux seuils d'énergie les plus bas (respectivement 5 et 8,5 J/cm² par impulsion), tout en ayant les rendements relatifs les plus élevés (2,5 µm par impulsion).

Le Tableau B présente, quant à lui, une estimation des profondeurs moyennes d'ablation par impulsion, lorsqu'on fait agir un faisceau laser de longueur d'onde 308 nm et un faisceau laser de longueur d'onde 1064 nm sur la surface contaminée, respectivement sous air et sous eau, de pièces en silice ou en alumine, représentatives des matériaux de construction tels que les bétons, et/ou des céramiques.

La durée de chaque impulsion est de 30 ns à la longueur d'onde 308 nm et de 7 ns à la longueur d'onde de 1064 nm, la fréquence de tir étant dans tous les cas de 1 Hz.

TABLEAU B

longueur d'onde (nm)	nature des matériaux	densité d'énergie par impulsion (J/cm ²)	profondeur moyenne d'ablation par impulsion (µm)	profondeur moyenne d'ablation par impulsion (µm)
			AIR	EAU
308	Silice oxydée	20	0,06 (1)	0,4 (1)
308	Alumine	20	0,24 (1)	2,5 (1)
1064	Alumine	15	0,6 (1)	Plaque perforée (1) e # 0,5 mm
1064	Alumine	15	0 (2)	12 (2;3)

(1) Nombre d'impulsions successives : 50(1), 52(2), 10(3).

Sur le Tableau C, on a porté les résultats d'essais comparatifs de décontamination effectués sur des échantillons en Inconel 600 oxydé, contaminé au Co 60 en faisant agir un faisceau laser sur des échantillons présentant des activités initiales voisines, respectivement en présence de l'air ambiant avec une aspiration à un débit de 86 m³/h, en présence d'un film d'eau sur la surface de l'échantillon à un débit de 50 l/h et en présence d'un film d'eau additionné de 5 moles/l d'acide nitrique à un débit de 50 l/h.

Pour effectuer ces essais, on a utilisé un faisceau laser de longueur d'onde 532 nm, la largeur temporelle des impulsions étant de 7 ns, le taux de répétition de 30 Hz et la densité d'énergie par impulsion de 7 J/cm².

TABLEAU C

Activité initiale (Bq/cm ²)		20 400	19 700	21 500
	Densité d'énergie déposée (J/cm ²)	Facteur de décontamination (air + aspiration)	Facteur de décontamination (Film d'eau)	Facteur de décontamination (Film d'eau + HNO ₃ 5 moles/l)
	100		3	22
	200	1,4	7	94
	300	1,5	11	170
	400	1,5	16,5	250
	450	1,6	19	280
	500		21	
	550		24	
Activité résiduelle (Bq/cm ²)		12 750	830	15

Ce tableau C fait notamment apparaître de façon très nette le gain essentiel apporté par la présence d'un film

EP 0 681 735 B1

liquide à la surface de la pièce décontaminée. En outre, il montre, dans le cadre du procédé conforme à l'invention, qu'un facteur de décontamination comparable (21 ou 22) peut être obtenu pour une densité d'énergie déposée cinq fois moindre (100 J/cm^2 au lieu de 500 J/cm^2), en remplaçant le film d'eau par un film d'eau additionné d'acide nitrique.

5 Le Tableau D est un tableau comparable au Tableau C, dans lequel les échantillons testés étaient des échantillons d'acier AISI 304 recouvert d'oxyde contaminé au Co 60. Les caractéristiques du faisceau laser étaient par ailleurs identiques à celles du Tableau C.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

TABLEAU D

Activité initiale (Bq/cm ²)	Densité d'énergie déposée (J/cm ²)	98 700	92 400	103 500	99 180	116 000
	100	2	7			30
	200	2,5	13	15	10	130
	300	2,9	38	45	62	260
	400	3	72	82	142	700
	500	3	95	125	260	1950
	550	3,1	130			
	600				400	
Activité résiduelle (Bq/cm ²)		32 000	664	723	231	60

EP 0 681 735 B1

Le Tableau D fait apparaître encore plus clairement que le Tableau C l'influence de la nature du liquide qui recouvre la surface décontaminée par le faisceau laser. En effet, cinq échantillons différents présentant des activités initiales voisines ont été traités par un faisceau laser respectivement en présence de l'air ambiant avec une aspiration à un débit de 86m³/h, en présence d'un film d'eau à un débit de 50 l/h, en présence d'un film d'eau auquel étaient ajoutés 1,5 % d'acides citrique et oxalique ("CITROX") à un débit de 50 l/h, en présence d'un film d'eau additionné de 0,5 mole/l d'acide nitrique à un débit de 50 l/h et en présence d'un film d'eau additionné de 5 moles/l d'acide nitrique à un débit de 50 l/h.

L'observation des résultats donnés par le Tableau D fait apparaître qu'un facteur de décontamination comparable (130) est obtenu pour une densité d'énergie près de trois fois moindre (200 J/cm² au lieu de 550 J/cm²), lorsqu'on travaille en présence d'un film d'eau additionné de 5 moles/l d'acide nitrique, par rapport à une décontamination effectuée simplement en présence d'un film d'eau.

Enfin, le tableau E illustre des résultats d'essais comparables à ceux qui sont donnés sur les Tableaux C et D, dans le cas où l'on effectue la décontamination de surface d'échantillons en acier AISI 304 contaminé au Cs137. Les caractéristiques du faisceau laser utilisé sont identiques à celles qui ont été indiquées dans le cadre des essais illustrés sur les Tableaux C et D.

TABLEAU E

Activité initiale (Bq/cm ²)		716	455 à 1 248	773	992 à 1 821
	Densité d'énergie déposée (J/cm ²)	Facteur de décontamination air + aspiration	Facteur de décontamination Film d'eau	Facteur de décontamination Film d'eau + citrox 1.5%	Facteur de décontamination Film d'eau + HNO ₃ 5moles/l
	15	-		35	49
	30	-	20	100	240
	100	5,5	50		
	150	6	90		
	200	7,5	110		
	250	8,5	140		
	300	9	170		
Activité résiduelle (Bq/cm ²)		80	5 à 10	3	7

Les essais dont les résultats sont portés sur le Tableau E ont été effectués respectivement en présence d'air avec un système d'aspiration à un débit de 86 m³/h, en présence d'un film d'eau à un débit de 50 l/h, en présence d'un film d'eau additionné de 1,5 % d'acides citrique et oxalique ("CITROX") à un débit de 50 l/h et en présence d'un film d'eau additionné de 5 moles/l d'acide nitrique à un débit de 50 l/h.

Le Tableau E illustre notamment qu'un facteur de décontamination comparable (environ 50) peut être obtenu avec une densité d'énergie déposée environ sept fois moindre (15 J/cm² au lieu de 100 J/cm²) en effectuant l'abrasion en présence d'un film d'eau additionné de 5 moles/l d'acide nitrique, plutôt qu'en effectuant l'abrasion en présence d'un simple film d'eau.

Inversement, les résultats indiqués sur les Tableaux C, D et E montrent qu'un même facteur de décontamination peut être obtenu en réalisant le balayage de la surface à décontaminer par le faisceau laser en présence d'une solution d'acide nitrique, pour une quantité d'énergie déposée plus faible.

Revendications

1. Procédé de décontamination d'une surface radioactive (10), par balayage de cette surface au moyen d'un faisceau de lumière cohérente focalisé (21), caractérisé par le fait qu'on fait ruisseler un film de liquide (29) sur toute la surface à décontaminer (10), tout en procédant au balayage de cette surface par le faisceau.
2. Procédé de décontamination d'une surface radioactive (10), par balayage de cette surface au moyen d'un faisceau de lumière cohérente focalisé (21), caractérisé par le fait que, la surface à décontaminer (10) étant une surface intérieure d'un récipient, on remplit ce récipient de liquide (29) avant de procéder au balayage de cette surface par le faisceau.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que, lors du balayage de la surface à décontaminer (10), on procède au recyclage et au filtrage du liquide (29).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le liquide (29) utilisé est de l'eau.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que le liquide (29) utilisé est une solution aqueuse chargée en réactif chimique.
6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé par le fait que le réactif chimique est de l'acide nitrique.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le faisceau de lumière cohérente (21) a une longueur d'onde de 248 nm, 308 nm, 532 nm ou 1064 nm.
8. Installation de décontamination d'une surface radioactive (10), comprenant une source (12) de lumière cohérente, ainsi que des moyens (14, 16, 18, 20) pour diriger et focaliser un faisceau de lumière cohérente émis par cette source sur la surface (10) à décontaminer, de façon à permettre un balayage de cette surface par le faisceau, caractérisée par le fait qu'elle comprend de plus des moyens (22) pour faire ruisseler un film de liquide (29) sur toute la surface à décontaminer, lors du balayage de cette surface.
9. Installation selon la revendication 8, caractérisée par le fait que les moyens (22) pour faire ruisseler un film de liquide (29) sur la surface à décontaminer comprennent une rampe d'aspersion (24) cheminant sur toute la longueur d'un bord supérieur (10a) de la surface, un bac de rétention (28) placé en dessous d'un bord inférieur (10b) de la surface, et un circuit de recyclage (26) reliant le bac de rétention à la rampe d'aspersion, ce circuit de recyclage incluant des moyens de pompage (30) et des moyens de filtrage (32) du liquide.
10. Installation de décontamination d'une surface radioactive (10) formant une surface intérieure d'un récipient, comprenant une source (12) de lumière cohérente, ainsi que des moyens (14, 16, 18, 20) pour diriger et focaliser un faisceau de lumière cohérente émis par cette source sur la surface (10) à décontaminer, de façon à permettre un balayage de cette surface par le faisceau, caractérisée par le fait qu'elle comprend de plus un circuit de recyclage (26) d'un liquide (29) contenu dans le récipient lors du balayage de la surface à décontaminer, ce circuit de recyclage incluant des moyens de pompage (30) et des moyens de filtrage (32) du liquide.
11. Installation selon la revendication 10, caractérisée par le fait que les moyens (14, 16, 18, 20) pour diriger et focaliser

le faisceau sur la surface à décontaminer portent à leur extrémité un boîtier (36) ouvert vers ladite surface, et par le fait que le circuit de recyclage (26) prélève le liquide (29) dans ce boîtier et le rejette dans le réceptient.

5 Patentansprüche

1. Dekontaminierungsverfahren einer radioaktiven Oberfläche bzw. Fläche (10) durch Bestreichen dieser Fläche mittels eines fokussierten kohärenten Lichtbündels (21),
dadurch gekennzeichnet, daß man einen Film aus Flüssigkeit (29) über die gesamte zu dekontaminierende Fläche (10) rieseln läßt und dabei das Bestreichen dieser Fläche mit dem Lichtbündel durchführt.
2. Dekontaminierungsverfahren einer radioaktiven Fläche (10) durch Bestreichen dieser Fläche mittels eines fokussierten kohärenten Lichtbündels (21),
dadurch gekennzeichnet, daß die zu dekontaminierende Fläche (10) eine Innenfläche eines Behälters ist und man diesen Behälter mit Flüssigkeit (29) füllt, ehe man das Bestreichen dieser Fläche mit dem Lichtbündel durchführt.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man beim Bestreichen der zu dekontaminierenden Fläche (10) die Rückführung und Filtrierung der Flüssigkeit (29) vornimmt.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die verwendete Flüssigkeit (29) Wasser ist.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die verwendete Flüssigkeit (29) eine mit einem chemischen Reagens vermischte wäßrige Lösung ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das chemische Reagens Salpetersäure ist.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das kohärente Lichtbündel (21) eine Wellenlänge von 248nm, 308nm oder 1064nm hat.
8. Dekontaminierungsvorrichtung einer radioaktiven Fläche (10), umfassend eine Quelle (12) kohärenten Lichts sowie Einrichtungen (14, 16, 18, 20) zum Leiten bzw. Lenken und Fokussieren eines kohärenten Lichtbündels, das von dieser Quelle auf die zu dekontaminierende Fläche (10) gestrahlt wird, um ein Bestreichen dieser Fläche durch das Lichtbündel zu ermöglichen,
dadurch gekennzeichnet, daß sie außerdem Einrichtungen (22) umfaßt, um beim Bestreichen dieser Fläche einen Film aus Flüssigkeit (29) über die gesamte zu dekontaminierende Fläche rieseln zu lassen.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Rieseleinrichtungen (22) zur Bildung eines Films aus Flüssigkeit (29) auf der zu dekontaminierenden Fläche ein Sprühhrohr (24) umfassen, das über die gesamte Länge eines oberen Randes (10a) der Fläche erstreckt, sowie ein Rückhaltebecken (28), angeordnet unter einem unteren Rand (10b) der Fläche, und eine Rückführungsleitung (26), die das Rückhaltebecken verbindet mit dem Sprühhrohr, wobei diese Rückführungsleitung Pumpeinrichtungen (30) und Filtriereinrichtungen (32) der Flüssigkeit umfaßt.
10. Dekontaminierungsvorrichtung einer radioaktiven Fläche (10), die eine Innenfläche eines Behälters bildet, umfassend eine Quelle (12) kohärenten Lichts sowie Einrichtungen (14, 16, 18, 20) zum Leiten bzw. Lenken und Fokussieren eines kohärenten Lichtbündels, das von dieser Quelle auf die zu dekontaminierende Fläche (10) gestrahlt wird, um ein Bestreichen dieser Fläche durch das Lichtbündel zu ermöglichen,
dadurch gekennzeichnet, daß sie außerdem eine Rückführungsleitung (26) einer Flüssigkeit (29) umfaßt, die in dem Behälter während des Bestreichens der zu dekontaminierenden Fläche enthalten ist, wobei diese Rückführungsleitung Pumpeinrichtungen (30) und Filtriereinrichtungen (32) der Flüssigkeit umfaßt.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtungen (12, 16, 18, 20) zum Leiten und Fokussieren des Lichtbündels auf die zu dekontaminierende Fläche an ihrem Ende ein Gehäuse (36) tragen, das gegen die genannte Fläche offen ist, und dadurch, daß die Rückführungsleitung (26) die Flüssigkeit (29) in diesem Gehäuse ansaugt und sie in den Behälter ausscheidet.

Claims

1. Method for decontaminating a radioactive surface (10) by sweeping this surface using a focused beam of coherent light (21), characterized in that the entire surface (10) to be decontaminated is irrigated with a liquid film (29) while this surface is swept with the beam.
2. Method for decontaminating a radioactive surface (10) by sweeping this surface using a focused beam of coherent light (21), characterized in that, the surface (10) to be decontaminated being an internal surface of a container, this container is filled with liquid (29) before this surface is swept with the beam.
3. Method according to either one of the preceding claims, characterized in that, when the surface (10) to be decontaminated is swept, the liquid (29) is recycled and filtered.
4. Method according to any one of the preceding claims, characterized in that the liquid (29) used is water.
5. Method according to any one of Claims 1 to 3, characterized in that the liquid (29) used is an aqueous solution containing chemical reagent.
6. Method according to Claim 5, characterized in that the chemical reagent is nitric acid.
7. Method according to any one of the preceding claims, characterized in that the beam (21) of coherent light has a wavelength of 248 nm, 308 nm, 532 nm or 1064 nm.
8. Installation for decontaminating a radioactive surface (10), comprising a coherent light source (12) and means (14, 16, 18, 20) for directing and focusing a beam of coherent light emitted by this source onto the surface (10) to be decontaminated, so as to allow this surface to be swept by the beam, characterized in that it furthermore comprises means (22) for irrigating the entire surface to be decontaminated with a liquid film (29) when the surface is swept.
9. Installation according to Claim 8, characterized in that the means (22) for irrigating the surface to be decontaminated with a liquid film (29) comprise a spray pipe (24) running along the entire length of an upper edge (10a) of the surface, a collection tank (28) placed below a lower edge (10b) of the surface, and a recycling circuit (26) which joins the collection tank to the spray pipe, this recycling circuit including means (30) for pumping and means (32) for filtering the liquid.
10. Installation for decontaminating a radioactive surface (10) forming an internal surface of a container, comprising a coherent light source (12) and means (14, 16, 18, 20) for directing and focusing a beam of coherent light emitted by this source onto the surface (10) to be decontaminated, so as to allow this surface to be swept by the beam, characterized in that it furthermore comprises a circuit (26) for recycling a liquid (29) contained in the container when the surface to be decontaminated is swept, this recycling circuit including means (30) for pumping and means (32) for filtering the liquid.
11. Installation according to Claim 10, characterized in that, at their end the means (14, 16, 18, 20) for directing and focusing the beam onto the surface to be decontaminated have a casing (36) which is open towards the said surface, and in that the recycling circuit (26) draws off the liquid (29) from this casing and discharges it into the container.

