

---

---

**Lasers et équipements associés aux  
lasers — Méthodes d'essai du seuil  
d'endommagement provoqué par laser —  
Partie 4:  
Inspection, détection et mesurages**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser-induced  
damage threshold —  
Part 4. Inspection, detection and measurement*  
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 21254-4:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a13811f0-2048-42ac-a94b-ac7c4a83568f/iso-tr-21254-4-2011>



## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 21254-4:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a13811f0-2048-42ac-a94b-ac7c4a83568f/iso-tr-21254-4-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a13811f0-2048-42ac-a94b-ac7c4a83568f/iso-tr-21254-4-2011>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2011

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

|  |    |
|--|----|
| Avant-propos .....   | iv |
| Introduction.....  | v  |
| 1 <b>Domaine d'application</b> .....   | 1  |
| 2 <b>Références normatives</b> .....   | 1  |
| 3 <b>Termes et définitions</b> .....   | 1  |
| 4 <b>Méthodes de détection des dommages</b> .....  | 1  |
| 4.1 <b>Généralités</b> .....   | 1  |
| 4.2 <b>Résumé des méthodes de détection des dommages</b> .....   | 2  |
| 4.3 <b>Captage du rayonnement de l'échantillon</b> .....   | 3  |
| 4.3.1 <b>Techniques de détection de la diffusion</b> .....   | 3  |
| 4.3.2 <b>Détection du rayonnement d'un plasma ou du rayonnement thermique</b> .....                              | 5  |
| 4.3.3 <b>Fluorescence</b> .....  | 5  |
| 4.4 <b>Détection des modifications du facteur de réflexion ou de transmission et techniques d'imagerie</b> ..... | 7  |
| 4.4.1 <b>Détection des modifications du facteur de réflexion ou de transmission en ligne</b> .....               | 7  |
| 4.4.2 <b>Microscopie en ligne</b> .....  | 8  |
| 4.5 <b>Méthodes de détection photothermiques</b> .....   | 9  |
| 4.5.1 <b>Généralités</b> .....   | 9  |
| 4.5.2 <b>Déviations photothermiques et effet de lentille thermique de la surface</b> .....                       | 9  |
| 4.5.3 <b>Effet mirage</b> .....  | 11 |
| 4.6 <b>Détection de la pression transitoire</b> .....  | 12 |
| 5 <b>Techniques de contrôle après la séquence d'essai par laser</b> .....  | 13 |
| 5.1 <b>Généralités</b> .....   | 13 |
| 5.2 <b>Microscopie Nomarski</b> .....  | 14 |
| 5.3 <b>Comparateur d'images microscopiques</b> .....   | 14 |
| 5.4 <b>Microscopie à balayage laser</b> .....  | 16 |
| 5.5 <b>Techniques de cartographie</b> .....  | 17 |
| 5.6 <b>Microscopie électronique</b> .....  | 18 |
| 5.7 <b>Microscopie à force atomique</b> .....  | 19 |
| 5.8 <b>Microscopie confocale</b> .....   | 20 |
| Bibliographie.....   | 22 |

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

Exceptionnellement, lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique par exemple), il peut décider, à la majorité simple de ses membres, de publier un Rapport technique. Les Rapports techniques sont de nature purement informative et ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO/TR 21254-4 a été élaboré par le comité technique ISO/TC 172, *Optique et photonique*, sous-comité SC 9, *Systèmes électro-optiques*.

L'ISO/TR 21254 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué par lasers*:

- *Partie 1: Définitions et principes de base*
- *Partie 2: Détermination du seuil*
- *Partie 3: Possibilités de traitement par puissance (énergie) laser*
- *Partie 4: Inspection, détection et mesurages*

## Introduction

Les programmes de détection du seuil d'endommagement provoqué par laser impliquent toujours des techniques sensibles pour le contrôle des surfaces et la détection des dommages. Dans un protocole de détection type, chaque échantillon est contrôlé avant l'essai par des méthodes microscopiques afin d'évaluer la qualité de la surface et les imperfections. Pendant l'irradiation de l'échantillon d'un essai d'endommagement S sur 1, diverses méthodes de contrôle en ligne sont utilisées pour détecter les dommages.

Des exemples de méthodes utilisées incluent la détection de la lumière diffusée par la surface d'essai, le captage du rayonnement d'un plasma ou la détection photothermique. Dans la plupart des cas, le système de détection est directement lié au laser pour interrompre l'irradiation de l'échantillon rapidement après le premier instant d'endommagement. De cette manière, un endommagement catastrophique du composant peut être évité et le nombre d'impulsions jusqu'à l'apparition du premier dommage peut être déterminé avec précision. Ces informations directes relatives à l'état d'endommagement peuvent également être traitées pendant l'essai en cours pour déterminer les niveaux d'énergie des examens suivants, afin de réduire le plus possible les incertitudes de détection. Pour la même raison, des systèmes complexes de détection s'appuyant sur l'imagerie directe et le traitement en ligne des images peuvent souvent se trouver dans les installations de détection 1 sur 1. La séquence d'irradiation des échantillons est suivie d'un contrôle à l'aide de la technique appropriée en vue d'identifier les sites endommagés et d'obtenir des informations relatives aux mécanismes contribuant à l'endommagement. Le contrôle des sites examinés est essentiel pour une détermination précise des seuils d'endommagement, car il s'agit de l'évaluation finale et la plus sensible de l'état d'endommagement.

Le présent Rapport technique est consacré à une sélection de techniques pour le contrôle des surfaces optiques avant et après l'essai d'endommagement et aux techniques de détection des dommages intégrées dans les installations de détection. Les méthodes de détection des dommages décrites sont des exemples de solutions pratiques soumises à essai et souvent mises en application dans les installations de détection. L'application d'autres méthodes pour la détection ou le contrôle des dommages dans les composants optiques n'est pas exclue par le présent Rapport technique.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO/TR 21254-4:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a13811f0-2048-42ac-a94b-ac7c4a83568f/iso-tr-21254-4-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a13811f0-2048-42ac-a94b-ac7c4a83568f/iso-tr-21254-4-2011>

# Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué par laser —

## Partie 4: Inspection, détection et mesurages

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO/TR 21254 décrit les techniques de contrôle et de détection des dommages provoqués par laser sur les surfaces optiques et dans le volume des composants optiques.

### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 11145, *Optique et photonique — Lasers et équipements associés aux lasers — Vocabulaire et symboles*

[ISO/TR 21254-4:2011](#)

ISO 21254-1, *Lasers et équipements associés aux lasers — Méthodes d'essai du seuil d'endommagement provoqué par laser — Partie 1: Définitions et principes de base*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 11145 et l'ISO 21254-1 s'appliquent.

### 4 Méthodes de détection des dommages

#### 4.1 Généralités

Pour les méthodes d'essai d'endommagement impliquant plus d'une impulsion par site d'essai, un système approprié de détection des dommages en ligne est nécessaire pour évaluer l'état de la surface soumise à essai conformément à l'ISO 21254-1. Il est recommandé que le système de détection des dommages en ligne ait la possibilité d'interrompre les impulsions suivantes et de stopper le compteur d'impulsions après la détection d'un dommage.

Pour la détection des dommages en ligne, tout principe approprié peut être utilisé. Les techniques adaptées à cet effet sont, par exemple, les techniques de microscopie en ligne, la détection photoacoustique ou photothermique, ainsi que les détections de la diffusion utilisant un laser séparé ou le rayonnement provenant du laser générant les dommages. Les exemples de détection des dommages en ligne suivants décrivent des méthodes qui s'appuient sur le captage du rayonnement de l'échantillon, la détection de propriétés spécifiques de l'échantillon et des méthodes photothermiques. De plus, une technique fondée sur la détection de la pression transitoire est présentée comme exemple de méthode de détection en ligne non optique. Les techniques décrites sont illustrées par des méthodes publiées dans la littérature ouverte. La sélection

d'exemples pratiques est considérée uniquement à titre descriptif et n'indique aucune préférence pour ces méthodes ou recommandation de celles-ci.

#### 4.2 Résumé des méthodes de détection des dommages

Les principales caractéristiques des techniques de détection des dommages en ligne décrites sont rassemblées dans le Tableau 1. Outre le principe de base, les avantages et inconvénients spécifiques sont considérés.

**Tableau 1 — Avantages et inconvénients des méthodes de détection des dommages**

| Méthode de détection des dommages (paragraphe)     | Avantages   | Inconvénients  |
|--|---|--|
| Techniques de détection de la diffusion<br>(4.3.1) | faible coût d'essai<br>corrélacion claire et utilisation préférentielle avec les dommages morphologiques<br>convient aux séquences automatiques<br>sensibilité et fiabilité élevées<br>court temps de réaction (ns)<br>détection sélective des dommages de surface ou de volume et de surface | détection indirecte: signal non corrélé au mécanisme d'endommagement<br>convient moins aux structures en couches à surcouchage ou aux filtres ondulés<br>insensible au tassement   |
| Rayonnement d'un plasma et thermique<br>(4.3.2)    | faible coût d'essai<br>amplitude du signal corrélée aux mécanismes d'endommagement<br>court temps de réaction (ns)  | dépendant de l'environnement<br>sensibilité réduite: le rayonnement d'un plasma peut se produire sans endommagement de surface et inversement<br>interprétation difficile du signal par rapport à l'endommagement<br>réduction des données difficile                                 |
| Fluorescence<br>(4.3.3)                            | signal corrélé aux mécanismes d'endommagement et interprétable<br>court temps de réaction (ns)<br>préférentielle pour la détection des centres colorés  | coût d'essai élevé<br>sensibilité réduite: la corrélation de l'endommagement avec le signal de fluorescence peut être complexe et spécifique à l'échantillon<br>interprétation difficile du signal par rapport à l'endommagement<br>nécessité d'un étalonnage spécifique au matériau |
| Facteurs de réflexion-transmission<br>(4.4.1)      | faible coût d'essai<br>sensibilité élevée et corrélation claire avec l'endommagement fonctionnel<br>convient aux séquences automatiques<br>fiabilité élevée<br>court temps de réaction (ns)   | détection indirecte : signal non corrélé au mécanisme d'endommagement<br>ne convient pas à tous les types d'optique  |
| Microscopie en ligne<br>(4.4.2)                    | production directe d'images<br>meilleure fiabilité possible pour les surfaces<br>possibilité de réduction des données complexes<br>convient aux séquences automatiques  | coût d'essai élevé<br>temps de réponse long (environ 10 ms)  |



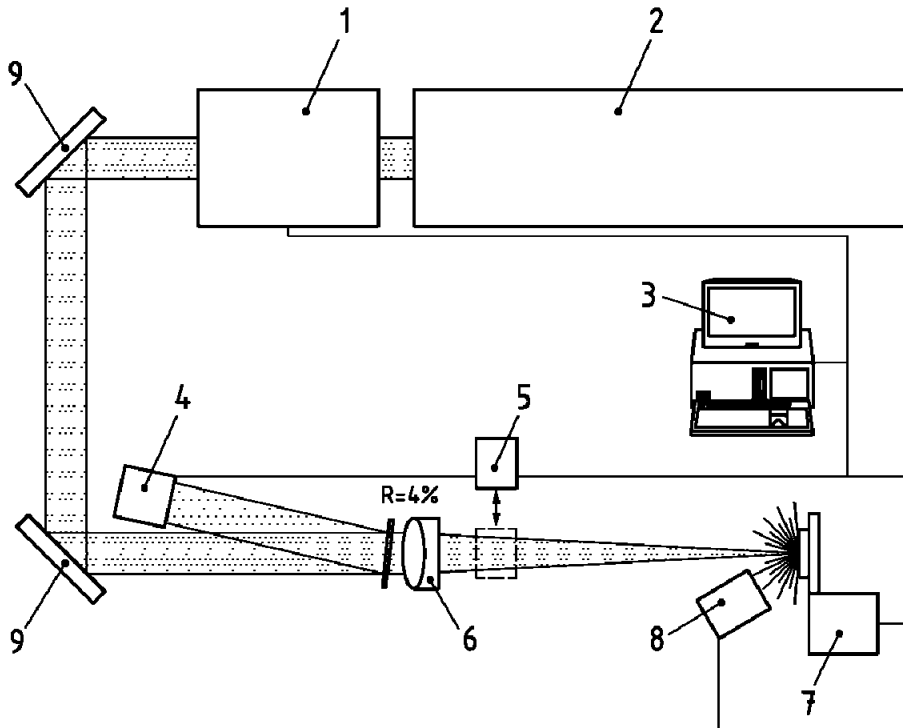
Tableau 1 (suite)

| Méthode de détection des dommages (paragraphe)                | Avantages   | Inconvénients  |
|---|---|--|
| Déviation photothermique et effet de lentille et mirage (4.5) | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ évaluation du facteur d'absorption</li> <li>▪ sensibilité élevée</li> <li>▪ signal corrélé aux mécanismes d'endommagement</li> <li>▪ effets de pré-endommagement détectables</li> <li>▪ effets photoacoustiques et thermiques (effet mirage)</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ interprétation difficile du signal par rapport à l'endommagement</li> <li>▪ faible résolution temporelle (ms)</li> </ul>                              |
| Détection de la pression transitoire (4.6)                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ insensible aux vibrations et aux défauts d'alignement</li> <li>▪ convient aux échantillons incurvés ou en diffusion</li> <li>▪ analyse possible des espèces d'ablation permettant une interprétation des mécanismes d'endommagement (avec un spectromètre de masse)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ convient uniquement à des conditions de vide élevé</li> <li>▪ ne convient pas à de petites (&lt;200 µm) de point (faible masse d'ablation)</li> </ul> |

### 4.3 Captage du rayonnement de l'échantillon

#### 4.3.1 Techniques de détection de la diffusion

Un concept important pour la détection des dommages en ligne est le captage du rayonnement diffusé par le composant soumis à essai. L'augmentation de la diffusion optique du site d'essai est interprétée comme une conséquence directe des propriétés modifiées du volume ou de la surface par les mécanismes d'endommagement impliqués. Les montages peuvent être actionnés directement par la détection d'un rayonnement diffusé par le laser d'essai (voir Figure 1) ou sur la base de la diffusion provenant du faisceau d'un laser distinct superposé au faisceau du laser d'essai sur le site d'essai (voir Figure 2). Dans les systèmes utilisant la diffusion du rayonnement du laser d'essai, la méthode peut être mise en œuvre avec quelques composants optiques supplémentaires captant le rayonnement diffusé sur un détecteur. Pour le captage du rayonnement diffusé sur l'élément de détection, des lentilles ou des miroirs concaves sont utilisés. Pour les mises en œuvre à source distincte, un laser présentant une excellente stabilité de pointage et des fluctuations minimales d'intensité est utilisé comme source de rayonnement. La lumière du laser est raffinée par un système de préparation de faisceau qui est normalement constitué de systèmes télescopiques avec des ouvertures, de filtres spatiaux et de composants optiques pour moduler la densité de puissance du laser. Après sa préparation, le faisceau du laser est focalisé sur le site même de l'échantillon soumis à essai d'endommagement. Le rayonnement diffusé est capté par une lentille et détecté par un photodétecteur. La partie du faisceau laser réfléchi par la surface de l'échantillon est interrompue par une ouverture négative. Pour obtenir une sensibilité élevée et une faible interférence avec les autres sources de lumière de l'environnement de la mise en œuvre, il est recommandé d'utiliser des techniques sensibles de détection de phase et un filtre d'interférence pour la longueur d'onde du laser. Dans toutes les mises en œuvre, il convient d'enregistrer le signal de détection avec une résolution temporelle suffisante pour identifier instantanément le début de l'endommagement en corrélation avec les impulsions individuelles du laser d'essai.



NOTE Voir Référence [5].

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

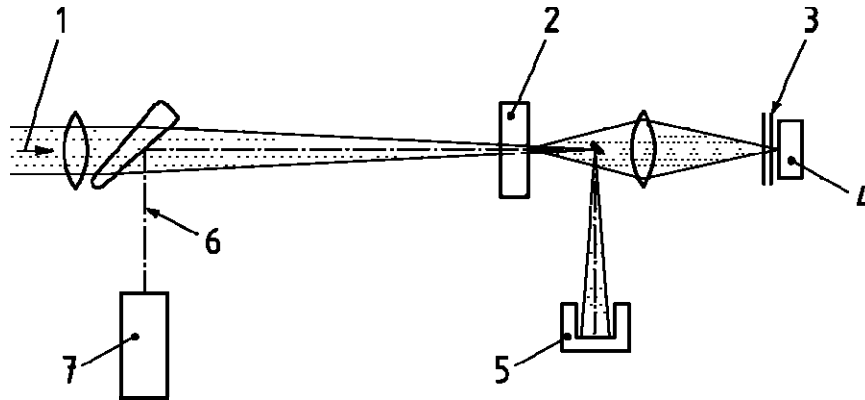
**Légende**

- 1 atténuateur motorisé
- 2 laser CPA Ti:Saphir
- 3 ordinateur de commande des mesures
- 4 détecteur d'énergie
- 5 dispositif de mesure de puissance
- 6 lentille achromatique
- 7 mécanisme de translation de l'échantillon
- 8 détecteur de dommages en ligne
- 9 HR à 45°

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a13811f0-2048-42ac-a94b-ac7c4a83568f/iso-tr-21254-4-2011>

**Figure 1 — Mise en œuvre type pour un système de détection de la diffusion en ligne sur la base d'un rayonnement diffusé à partir du faisceau du laser d'essai**

Les systèmes de détection de la diffusion pour la détection des dommages font preuve d'une grande fiabilité pour les mécanismes d'endommagement qui influencent la structure de la surface ou induisent des défauts dans le volume de l'échantillon d'essai. La méthode de détection n'est parfois par appropriée pour les échantillons qui sont endommagés par des effets impliquant un délaminage complet des revêtements de la surface. Dans certains cas, une réduction du signal de diffusion est observée pendant la phase d'irradiation initiale; celle-ci est attribuée aux effets du nettoyage ou du conditionnement de la surface.



### Légende

- 1 faisceau d'essai
- 2 échantillon d'essai
- 3 pile de filtres
- 4 détecteur
- 5 piège à lumière
- 6 faisceau sonde
- 7 laser sonde

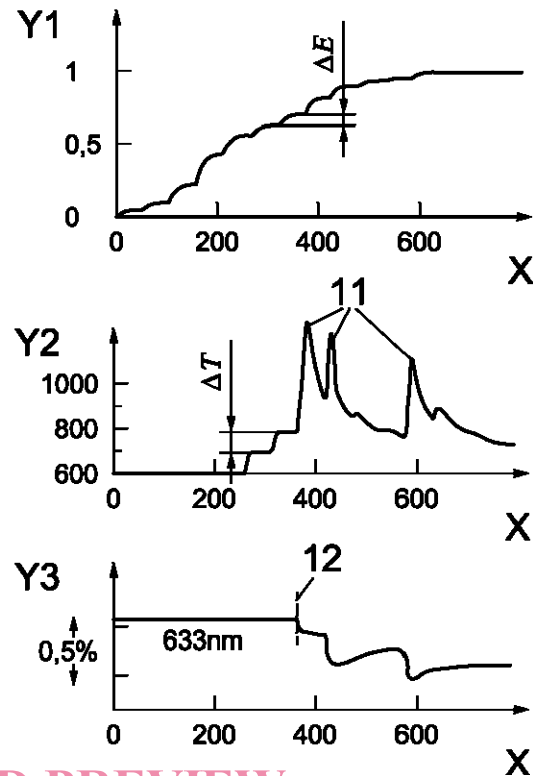
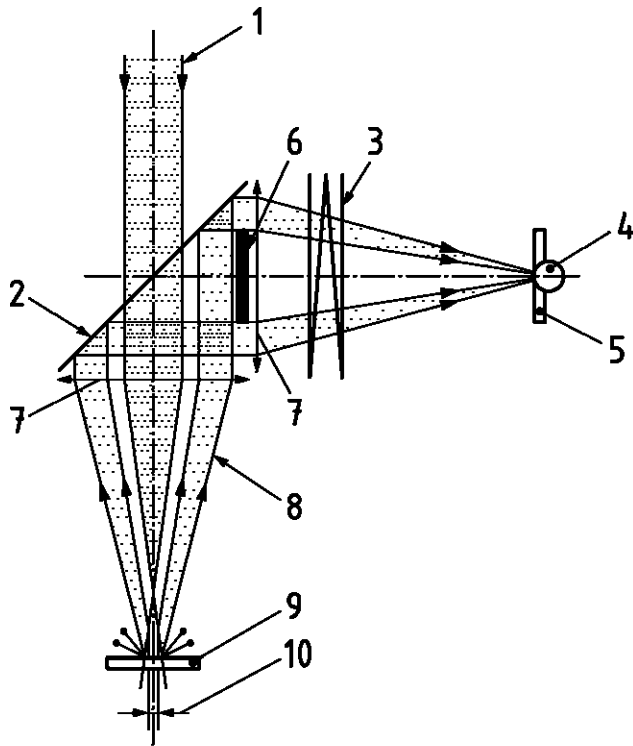
Figure 2 — Mise en œuvre type pour un système de détection de la diffusion en ligne avec une source laser distincte et une ouverture négative

### 4.3.2 Détection du rayonnement d'un plasma ou du rayonnement thermique

L'émission du rayonnement d'un plasma produit par un laser est souvent observée dans le cas d'un endommagement de surface [15]. Ce rayonnement peut être détecté en tant qu'indicateur de dommage avec un montage semblable au système de détection utilisé pour les détections directes de la diffusion en ligne. Pour différencier l'émission du plasma et le rayonnement du laser d'essai, il est recommandé d'utiliser un ensemble de filtres de densité optique élevée pour la longueur d'onde du laser d'essai. Le rayonnement d'un plasma peut être mesuré sur une plage spectrale étendue, de l'infrarouge moyen à l'ultraviolet dangereux. Dans certaines mises en œuvre, la longueur d'onde est sélectionnée dans l'infrarouge proche et est simultanément interprétée en tant que signal pyrométrique pour une détection sur site de la température de l'échantillon (voir Figure 3). Bien que l'étalonnage de la température du système dépende de plusieurs paramètres spécifiques de l'échantillon, l'évaluation du rayonnement thermique permet d'avoir un aperçu supplémentaire des mécanismes d'endommagement impliqués. Les méthodes de détection fondées sur le rayonnement d'un plasma souffrent du fait qu'un plasma peut également apparaître lors d'une irradiation laser sans endommagement de surface.

### 4.3.3 Fluorescence

La détection spectrophotométrique du rayonnement fluorescent permet une interprétation détaillée des états et des transitions électroniques pendant l'irradiation du matériau de l'échantillon. Du fait des énergies élevées des photons, cette méthode offre des points de vue intéressants pour l'essai d'endommagement sur la plage spectrale des ultraviolets/ultraviolets dangereux. Dans la plupart des cas, la fluorescence se produit déjà à des énergies d'irradiation relativement faibles, bien en dessous du seuil d'endommagement du composant d'essai. La détection des dommages dépend donc d'une évaluation complexe des spectres de fluorescence qui limite le principe aux applications et aux échantillons spéciaux.



a) Exemple de montage d'essai      b) Signaux détectés pendant l'irradiation par un train d'impulsions (12 impulsions,  $\lambda = 1\,064\text{ nm}$ ,  $d_{86,5} = 0,5\text{ mm}^{[6]}$ )

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 21254-4:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a13811f0-2048-42ac-a94b-ac7c4a83568f/iso-tr-21254-4-2011>

**Légende**

- X échelle de temps [ $\mu\text{s}$ ]
- Y1 énergie [unités relatives]
- Y2 température [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- Y3 transmission [%]
- 1 faisceau laser incident
- 2 séparateur de faisceau dichroïque HT 1060/HR 850/45°
- 3 ensemble de filtres HT 850/HR 1060
- 4 photodiode Si
- 5 ouverture ajustée à la dimension du faisceau
- 6 champ de diffusion
- 7 lentille de focalisation
- 8 rayonnement thermique
- 9 échantillon
- 10 dimension du faisceau
- 11 plasma
- 12 endommagement

**Figure 3 — Exemple de montage d'essai sur la base du rayonnement émis par la surface de l'échantillon pendant l'endommagement ou le chauffage par laser; graphique représentant les signaux détectés pendant l'irradiation par un train d'impulsions**