

TROIS IMAGES EN UNE : COMMENT LA NANOPHOTONIQUE RÉVOLUTIONNE LE CONCEPT D'IMAGE IMPRIMÉE

Nicolas DALLOZ¹, Mathieu HEBERT², Nathalie DESTOUCHES^{2,*}

¹ HID Global CID SAS, 31-33 rue de Verdun, 92150 Suresnes

² UJM-Saint-Etienne, CNRS, Institut d'Optique Graduate School, Laboratoire Hubert Curien UMR 5516, Saint-Etienne, France

*nathalie.destouches@univ-st-etienne.fr



Le traitement par laser de films photosensibles contenant des nanoparticules métalliques permet de produire de manière contrôlée des centaines de milliers de nanostructures, affichant chacune une palette de couleurs variées suivant l'angle de vue et d'éclairage. Un choix judicieux parmi ces nanostructures permet d'afficher différentes images au même endroit d'un support, une révolution dans le domaine de l'impression qui intéresse l'industrie des documents sécurisés.

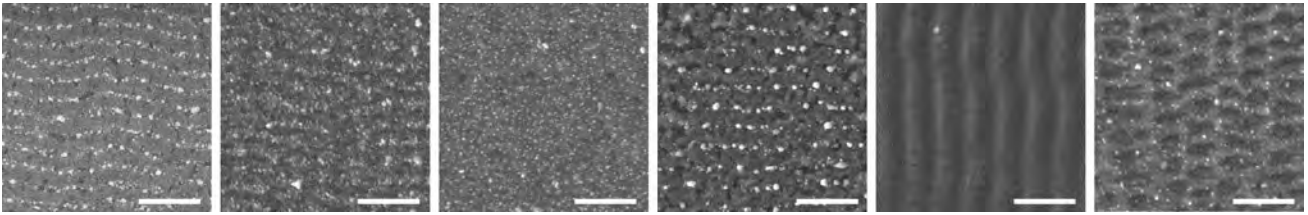
<https://doi.org/10.1051/photon/202412444>

Article publié en accès libre sous les conditions définies par la licence Creative Commons Attribution License CC-BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise sans restrictions l'utilisation, la diffusion, et la reproduction sur quelque support que ce soit, sous réserve de citation correcte de la publication originale.

Depuis des millénaires, les techniques permettant de produire des images en couleur (dessin, peinture, gravure, estampe, impression, etc.) reposent presque toutes sur le principe d'appliquer des matières colorantes sur un support opaque, ce dernier étant chargé de réfléchir la lumière colorée vers l'observateur. On trouve quelques exceptions comme le vitrail, où

l'image se produit plutôt par transmission de la lumière à travers des pièces colorées juxtaposées, mais dans tous les cas, l'objet est conçu pour afficher une image unique aux couleurs restant relativement stables quel que soit l'angle de vue ou d'éclairage. Poussées par une industrie de l'impression sécurisée en quête d'effets visuels marquants pour des documents difficiles à contrefaire, de nouvelles technologies ont émergé au XXI^e siècle. Les images peuvent désormais

être changeantes, prendre des teintes variables, ou révéler des motifs invisibles sous un éclairage particulier. Ceci est rendu possible par l'usage en certains endroits de l'image d'encres métalliques qui brillent à un certain angle, d'encres fluorescentes qui luminescent sous un éclairage UV, d'effets diffractifs qui font apparaître des images sous des angles particuliers, de réseaux de micro-lentilles qui réfractent des images dont les trames sont entrelacées, ou encore d'hologrammes



qui encodent des images en trois dimensions. Récemment, le Laboratoire Hubert Curien a mis au point une technique d'impression d'image basée sur la nanostructuration par laser de couches très fines semi-transparentes. Cette technique présente plusieurs atouts pour l'impression sécurisée au travers de singularités physiques et optiques que nous allons présenter dans cet article.

DESCRIPTION DES CONTENUS ATTENDUS

Un besoin industriel

C'est en 2015 que la société HID (Arjo Systems à l'époque) s'est rapprochée du Laboratoire Hubert Curien après avoir lu ses travaux sur la création de couleurs pérennes par traitement laser dans des couches inorganiques composées de dioxyde de titane (TiO_2) et de solution argentique. Un travail collaboratif a alors été initié avec comme objectif de parvenir à inscrire par laser nanoseconde des images couleurs sécurisées à l'intérieur de cartes en plastique. Les lasers nanosecondes sont aujourd'hui utilisés pour inscrire en niveaux de gris les informations personnelles et la photographie du porteur dans les documents d'identité grâce la calcination contrôlée d'un type de polycarbonate conçu pour réagir à la longueur d'onde de 1064 nm au sein de la carte. Des techniques pour l'impression d'images en couleur ont aussi été développées et sont basées sur la décoloration par laser d'encre rouge, vert et bleu insérées dans les cartes en plastique. L'idée de cette collaboration était de développer une solution innovante sans encre, n'utilisant

Figure 1. Images de microscopie électronique à balayage de métasurfaces créées par traitement laser sur un film mince de TiO_2 mésoporeux contenant une solution argentique. Barre d'échelle de 1 μm .

qu'un seul laser nanoseconde pour l'impression d'images présentant des effets visuels permettant d'authentifier le marquage, à l'œil nu, en quelques secondes.

Des nanostructures contrôlées par laser

Le traitement par laser de films minces de TiO_2 mésoporeux, dont

les pores contiennent de l'argent, génère des phénomènes contrôlés à la fois par la distribution d'intensité lumineuse dans le film et par le profil local de température. Lors du balayage laser, dont le spot d'une vingtaine de μm de large, à 532 nm, se déplace typiquement de 0.01 à 4 m/s lors de l'inscription d'une image, la lumière est absorbée par l'argent, présent sous forme de nanoparticules (<10 nm initialement) qui font office de nano-sources de chaleur et de nano-diffuseurs. La lumière diffusée peut être piégée dans le film ●●●

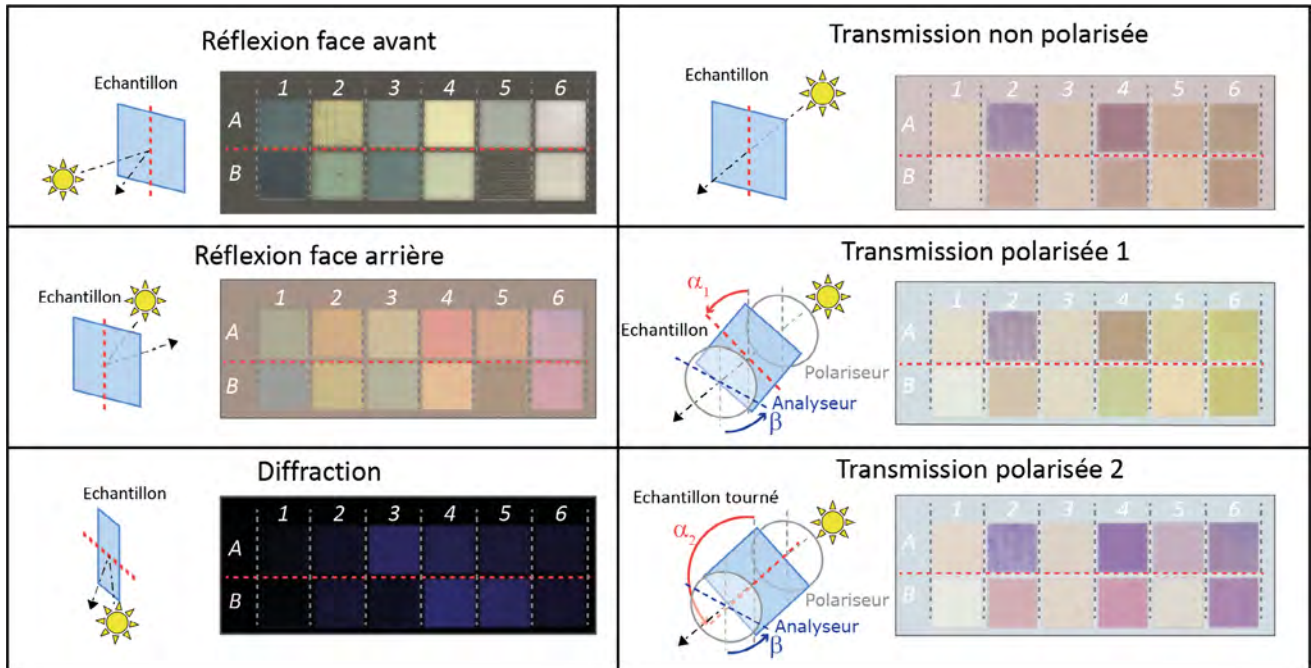
**Votre partenaire pour
l'optique de précision et
pour vos systèmes optiques.**

SPECTROS SA 4107 Ettingen Suisse Tel.+41 61 726 20 20

**HAAG-STREIT
SPECTROS**

www.spectros.ch

Look closer. See further.



et se propager parallèlement à sa surface, interférant alors avec le faisceau incident. Ce phénomène d'interférence crée une modulation périodique sub-longueur d'onde de l'intensité déposée dans le film et peut générer, lorsque la combinaison des paramètres laser, énergie

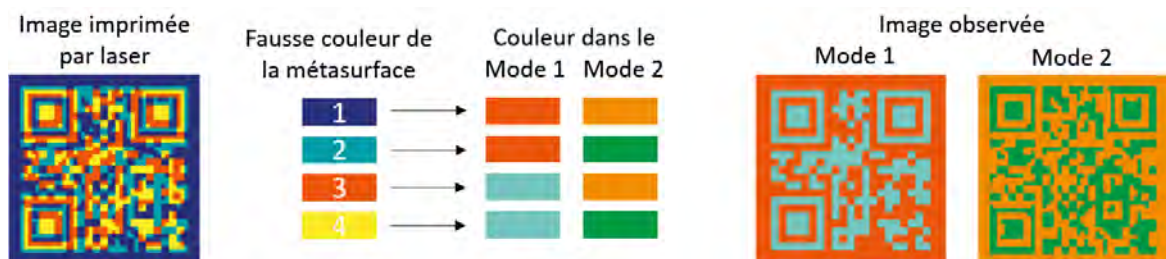
Figure 2. Couleurs de 12 métasurfaces observées dans 6 modes d'observation-éclairage différents

par impulsion, taux de répétition et vitesse de balayage, n'induit pas trop d'accumulation thermique dans le film, une modulation locale de la température avec la même

période que l'intensité lumineuse [1]. L'élévation de température induit quant à elle des phénomènes thermo-chimiques qui tendent à faire grossir les nanoparticules. Il

PRINCIPE DU MULTIPLEXAGE DE DEUX IMAGES IMPRIMÉES

Pour pouvoir imprimer une image multiplexée par laser qui affichera 2 images bicolores distinctes dans deux modes d'observation (QR codes à droite), il est nécessaire et suffisant de trouver 4 métasurfaces dont les couleurs affichées dans les deux modes satisfont l'arbre logique de couleurs représenté au centre de l'image. L'image imprimée par laser contient donc 4 types de métasurfaces différents. Le principe s'étend pour n modes et p couleurs par mode en trouvant p^n métasurfaces constituant un arbre logique de couleurs pour les n modes.



peut ainsi résulter du balayage de la surface par un faisceau légèrement focalisé la formation de nanostructures organisées contenant des nanoparticules d'argent. La distribution de taille de ces nanoparticules, leur densité, leur degré d'organisation, leur position moyenne dans l'épaisseur du film de TiO_2 , qui constituent des paramètres statistiques, dépendent des paramètres laser précédemment cités ainsi que du nombre de passages successifs du faisceau laser au même endroit. L'orientation des nanostructures est quant à elle dépendante de la polarisation du faisceau incident. Chaque jeu de paramètres laser définit ainsi un ensemble de paramètres statistiques pour le film que l'on appellera à ce stade métasurface (Figure 1).

Des couleurs goniochromatiques

Ces métasurfaces ont des propriétés optiques reproductibles pour un jeu de paramètres laser donné, bien qu'à l'échelle nanométrique, chaque métasurface soit unique. Chaque métasurface peut être caractérisée par une couleur qui change en fonction de l'angle de vue et d'éclairage. La Figure 2 montre 12 métasurfaces différentes et leurs couleurs respectives dans 6 modes d'éclairage-observation différents. On est donc loin du précepte qui associe une couleur à une matière déposée sur le support : ici, la matière initialement transparente est structurée point à point sous l'impact du laser et affiche un ensemble de couleurs dans des modes choisis qui en constitue une signature. Cette signature résulte d'une combinaison d'effets optiques qui structurent le spectre de la lumière, incluant l'absorption par les modes de résonance plasmon des nanoparticules métalliques, parfois exaltée par du couplage en champ proche entre nanoparticules, l'hybridation entre des modes plasmoniques localisés et les modes photoniques associés à une propagation de la lumière parallèlement au film, et des interférences de type Fabry-Pérot. Ces effets peuvent être mis en évidence lors de l'étude électromagnétique de structures particulières [2]. Mais, l'hétérogénéité et le désordre apparent des nanoparticules à l'échelle nanométrique, tous deux inhérents au procédé laser mis en œuvre, rendent la prédiction des couleurs impossible à ce jour par des modèles physiques.

De la métasurface à l'image imprimée

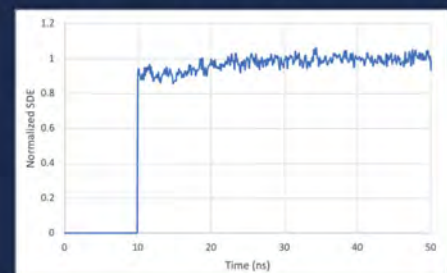
La variation des paramètres laser permet de créer des centaines de milliers de métasurfaces présentant des signatures différentes. Ces signatures ne pouvant être prédites, l'obtention des couleurs pour chaque jeu de paramètres laser est donc à déterminer expérimentalement – comme c'est d'ailleurs le cas pour les imprimés classiques sur papier dans l'industrie – en produisant des milliers de métasurfaces correspondant à la variation incrémentale des 5 paramètres laser, et en les mesurant chacune dans les divers modes d'éclairage-observation. Cette étape fastidieuse a été grandement accélérée ●●●



Enabling your science with ultra-fast, photon-number resolving SNSPDs

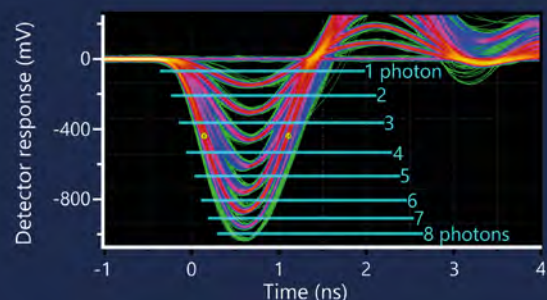
Ultrafast Detection

Recovery times below 10 ns, and count rates > 100 Mcps, while maintaining true latch-free operation.



Photon-Number Resolution

Discriminate up to 8 photons at a time with each 8-pixel ID281 detector, up to 16 detectors in one system.



Find out more



www.idquantique.com



Figure 3. Image imprimée multiplexée éclairée en lumière blanche dont les deux images sont observées simultanément en réflexion sur la lame de verre servant de support d'impression et en transmission par projection sur le fond blanc. Crédits : Nicolas Dalloz, Images n°21 et 23 de la Kodak Lossless True Color Image Suite <https://r0k.us/graphics/kodak/>

en imprimant des métasurfaces très petites sur un support unique, et en utilisant un système d'imagerie permettant de mesurer toutes les métasurfaces à la fois dans chaque mode. Il ressort de cette étape une base de données liant les paramètres de commande du laser et les couleurs reproductibles dans chaque mode d'éclairage-observation, maillon essentiel du « pilote » permettant de convertir les images voulues en commande du laser.

Deux, trois images indépendantes au même endroit du support

Il est alors possible de rechercher dans cette base de données des métasurfaces qui satisfont les conditions requises pour imprimer des images multiplexées (encart 1). Pour afficher deux images bicolores distinctes dans deux modes différents, il faut ainsi chercher des ensembles de 4 métasurfaces qui forment à elles 4 toutes les

combinaisons de 2×2 couleurs dans les 2 modes d'observation considérés. Lorsque l'une des images contient 6 couleurs et l'autre 2, comme illustré en Figure 3, il s'agit de trouver 12 métasurfaces

qui permettent de réaliser toutes les combinaisons possibles de 2×6 couleurs dans les deux modes d'observation. On notera que deux couleurs sont considérées comme identiques dans un mode d'observation dès lors qu'il est impossible de les distinguer visuellement, et non lorsque leurs spectres sont identiques ou que leurs coordonnées RGB sont identiques. A ce jour, jusqu'à 3 images différentes ont pu être multiplexées et observées sous éclairage ambiant à l'œil nu par cette technique [3]. Les travaux, initialement réalisés sur substrat de verre ont été transférés à l'intérieur de cartes en plastique avec un démonstrateur impliquant deux images observées en réflexion et en transmission respectivement. Ce procédé est ainsi en cours de développement au sein du laboratoire commun UJM-CNRS-HID en vue d'une industrialisation par HID.

CONCLUSION

Le multiplexage est un concept particulièrement intéressant pour la sécurisation des cartes et documents, notamment les éléments de personnalisation, en particulier les portraits, qui doivent rester parfaitement authentiques. Puisqu'on inscrit les deux images avec les mêmes métasurfaces, ces deux images sont impossibles à séparer. Si on essaie de modifier l'image 1, alors on modifie toutes les métasurfaces qui ne seront plus à même d'afficher l'image 2. Les documents inscrits avec cette technologie seront donc infalsifiables, et l'identité du porteur sera protégée. ●

RÉFÉRENCES

- [1] B. Eles *et al.*, *Nanophotonics* **11**, 10, 2303 (2022)
- [2] V. D. Le *et al.*, *Nanoscale* **15**, 19339 (2023)
- [3] N. Dalloz *et al.*, *Adv. Mater.* **34**, 2104054 (2022)