

OPTIQUE DE MISE EN FORME D'UN FAISCEAU LASER Nd:YAG POUR L'ÉCRITURE DIRECTE

Fodil SISERIR^{*1}, Slimane MESSAOUD^{*1}, Abdelkrim ALLAM^{*1}, Yacine BOUCETTA^{*1},
Tahar KERDJA^{*1}, Djamel OUADJAOUT^{*2} et Tahar TOUAM^{*1}

^{*1} *Centre de Développement des Technologies Avancées, Alger, Algérie*

^{*2} *Unité de Développement de la Technologie du Silicium, Alger, Algérie*

E-mail : fsiserir@cdta.dz ou fsiserir@gmail.com

RÉSUMÉ : La photolithographie joue un rôle central dans la micro fabrication des circuits photoniques intégrés (C P I), qui consiste à transférer le motif d'un masque sur un substrat spécifique. Le masque est généralement un substrat en verre sur lequel des motifs micrométriques au chrome sont gravés à l'aide d'un faisceau d'électrons ou d'une source laser.

Ce travail constitue la première étape pour la réalisation d'un système à écriture directe par ablation laser en vue de la réalisation de masques. Ce système est constitué d'un laser Nd:YAG de Quantel (model : YG980E), d'un système optique de mise en forme du faisceau, d'une table unidimensionnelle et d'un système électronique de commande-contrôle. Les performances du système optique obtenues ont permis de réaliser de la micro-gravure sur des couches métalliques déposées sur des substrats en verre. La microscopie optique a été utilisée pour caractériser les différentes structures gravées. Des traits de l'ordre de quelques micromètres ont été observés.

MOTS-CLÉS : micro-fabrication, photo-masque, ablation laser, laser Nd:YAG, photoniques intégrées

1. Introduction

La photonique intégrée a connu un développement important et ce grâce aux applications liées aux télécommunications optiques. La photolithographie joue un rôle central dans la micro fabrication des circuits photoniques intégrés (C P I). Elle consiste à reproduire dans une résine photosensible le dessin des CPI à réaliser. Cette résine est déposée sur le silicium. La lumière d'une source lumineuse de très faible longueur d'onde (UV ou inférieure) y projette l'image d'un masque (Figure1). Plus la résolution optique est poussée, plus la miniaturisation des circuits peuvent être améliorée [1].

La méthode à écriture directe par laser [2,3], est avantageuse par rapport à la méthode chimique pour la réalisation de masques, elle apporte la rapidité, l'économie et la sécurité. Cet article a pour but de décrire la partie optique de mise en forme du faisceau laser Nd : YAG réalisée et utilisée dans le système à écriture directe par ablation laser. Le système sera exploité par la centrale technologique du centre (salle blanche) pour la réalisation de motifs (masques) puisque celle-ci est dotée d'un stepper type GCA8000 qui sert à l'exposition et l'alignement d'un motif et sa réduction sur le wafer [4]. Le schéma de principe du système expérimental réalisé est donné à la figure.2

2. Description du Système Expérimental

La figure 2, montre le schéma de principe du système à écriture directe par ablation laser, réalisé au laboratoire. Ce système est constitué principalement d'une source laser Nd :YAG, d'un atténuateur, d'un beam expander, d'un miroir dichroïque, d'un objectif de microscope, d'une table XY, d'une table optique, d'une carte de contrôle de National Instruments de type

NI PCI-7342, d'un système driver de type MID-7602 pour moteurs pas à pas, d'un PC dans lequel est installé le programme LabView, d'une camera CCD et d'un monitor.

La source laser est de type de type YG980E pulsé, fonctionnant en Q-Switch à la seconde harmonique ($\lambda=532\text{nm}$) avec un taux de répétition de 20Hz.

Ce laser est surdimensionné pour cela nous avons utilisé un atténuateur pour réduire l'énergie laser en sortie. Le beam expander (élargisseur de faisceau) dans le système pour réduire la divergence du faisceau et augmenter le diamètre du faisceau de x6, ce qui permet de réduire la densité d'énergie sur les optiques. Le faisceau ainsi élargie est réfléchi d'un angle de 90° par un miroir dichroïque placé à 45° . Le faisceau réfléchi est focalisé à l'aide d'un objectif de microscope sur une plaque en verre sur laquelle est déposée une mince couche de chrome. Cet objectif est caractérisé par une ouverture numérique (NA) de 0.1, un facteur de grossissement de 4x et une distance de travail 15 mm. La plaque à traiter est placée sur une table unidimensionnelle.

En cette étape du projet nous avons utilisé une table unidimensionnelle pour le tracé d'une ligne de motif sur la plaque à graver. Le motif est préalablement programmé dans un environnement LabView, les moteurs pas à pas de la table sont contrôlés par un PC à travers la carte NI PCI-7342 et le driver MID-7602. La synchronisation entre la source laser et la tableXY est réalisée à l'aide de NI PCI-7342.

La table optique est en granite elle sert à supporter et à isoler des vibrations les optiques, la source laser, la table XY et l'échantillon à traiter.

Un laser He-Ne est aussi utilisé pour aligner la source laser sur l'échantillon à graver.

Pour visualiser le processus d'ablation nous avons utilisé une camera CCD et un monitor. Le miroir dichroïque est choisi pour isoler les réflexions laser sur l'échantillon.

La première étape de ce projet s'est fixé comme objectif la réalisation d'une ligne continue de $100\ \mu\text{m}$ environ, sur une plaque en verre sur laquelle une fine couche de chrome est déposée.

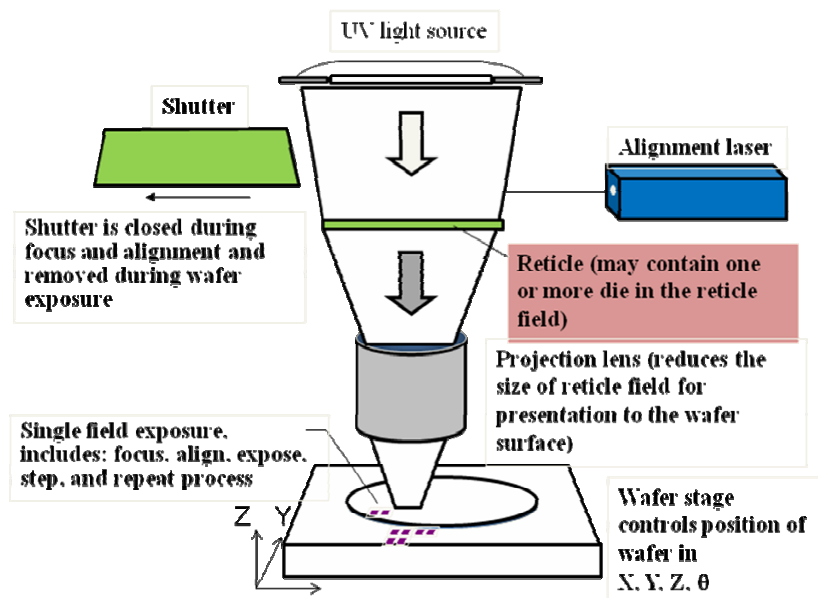


Figure 1 : Schéma de principe du stepper GCA 8000

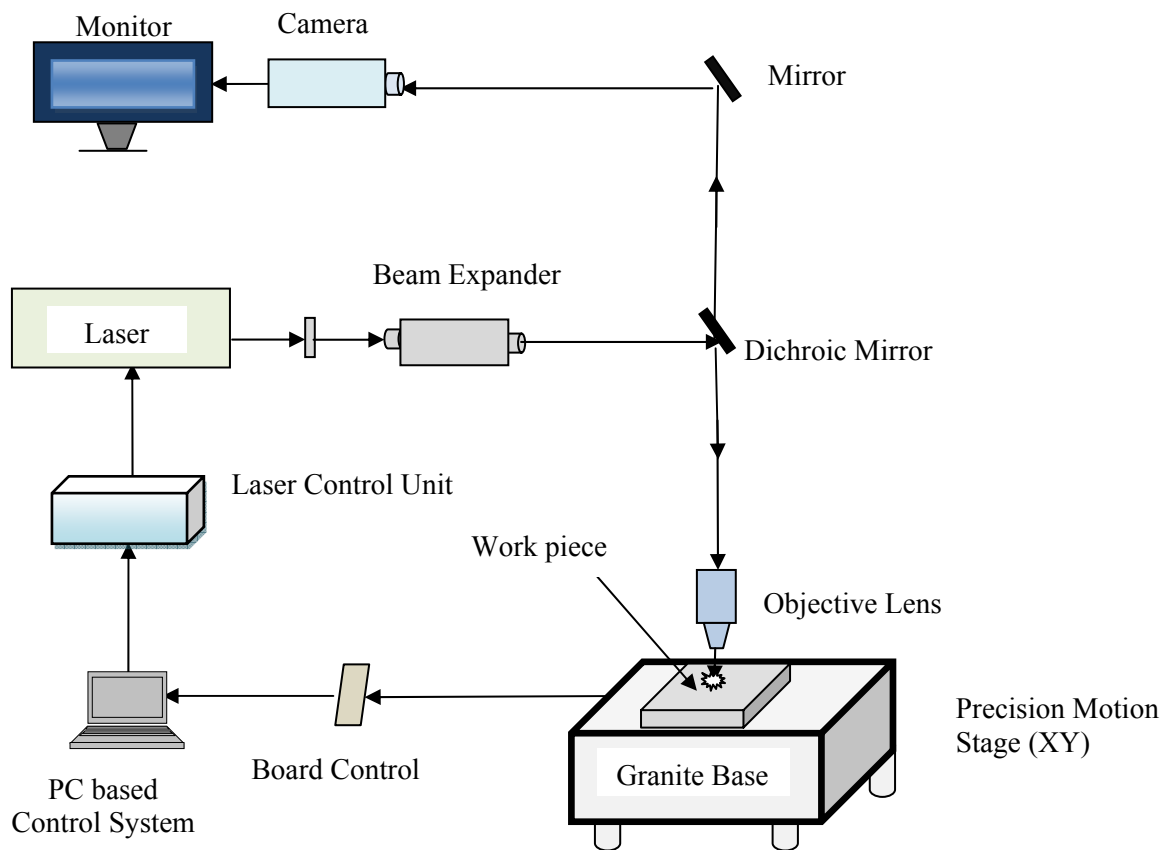


Figure 2 : Schéma synoptique du système à écriture directe par ablation laser

3. Optique de mise en forme

3. 1. Beam Expander

Le schéma de principe du design est donné à la figure. 3, il dérive du télescope Galiléen qui est constitué généralement d'une lentille d'entrée négative et d'une lentille de sortie positive.

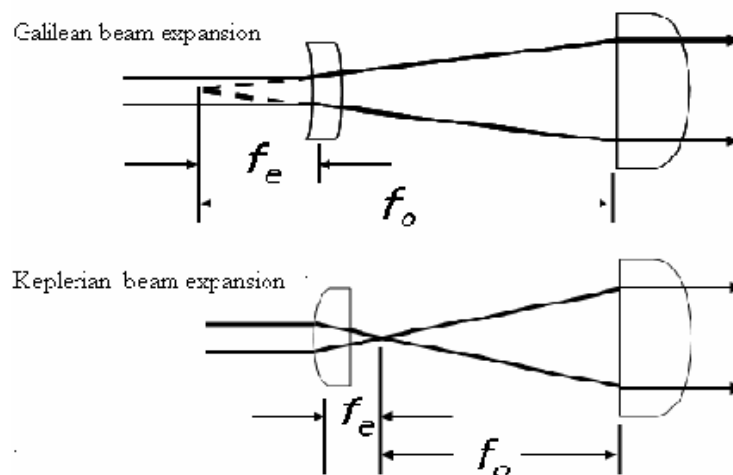


Figure 3. Configuration Galilien et Keplerien d'un Beam Expander

Le beam expander de type Galiléen est le plus utilisé pour sa simplicité, ses dimensions réduites et son coût réduit comparativement au Képlérien. Il est réalisé dans le but de réduire la divergence du faisceau laser et de protéger les optiques des énergies mises en jeu. Ceci est obtenu par l'effet de l'élargissement du faisceau laser comme le montre l'équation (3) et par conséquent la densité d'énergie se trouve aussi réduite.

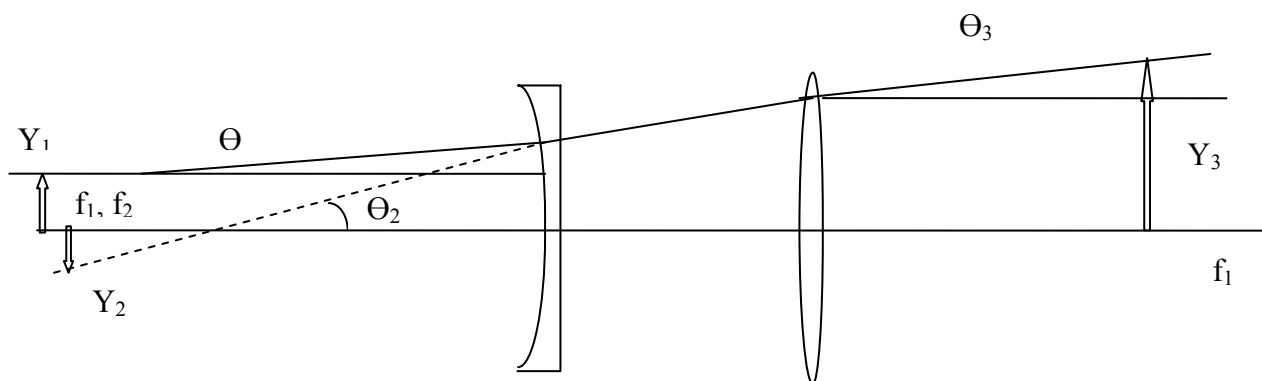


Figure 4. Diagramme de Galilien Beam Expander

3.1.1 Calculs numériques

En se référant à la figure 4, nous constatons que $-f_1$ et f_2 représentent respectivement la longueur focale de la lentille divergente (négative) et convergente (positive), θ_1 représente la divergence du faisceau laser source et Y_1 son rayon est élargie par la lentille négative $-f_1$. On a d'après [5] les équations (1) et (2) suivantes qui nous permettent le calcul des caractéristiques de sortie de notre beam expander à savoir θ_3 et Y_3 :

$$\theta_2 = \frac{Y_1}{|-f_1|} \quad (1)$$

$$Y_2 = \theta_1 \times |-f_1| \quad (2)$$

Nous obtenons la relation suivante :

$$Y_3 = \theta_2 \times f_2 = Y_1 \left(\frac{f_2}{|-f_1|} \right) \quad (3)$$

$$\theta_3 = \theta_1 \times \left(\frac{|-f_1|}{f_2} \right) \quad (4)$$

Données de notre conception du beam expander réalisé sont : le rayon du faisceau laser source est $Y_1=5$ mm, sa divergence $\theta_1=0.5$ mrd. La longueur focale de la lentille divergente $-f_1=30$ mm, et celle de la lentille convergente $f_2=180$ mm. Ce qui donne $Y_3=30$ mm et $\theta_3=0.1$ mrd. Le calcul montre que l'angle de divergence du faisceau élargie est égal à la divergence du faisceau laser source par le rapport des distances focales $M= f_2/-f_1$. Le choix des focales de lentilles nous permet de réduire la divergence du faisceau laser source de 1/6 et de l'élargir de X6.

3.2 Objectif de microscope

Dans un microscope l'image agrandie de l'objet est formée par la lentille de l'objectif. L'objet à observer est placé au voisinage du foyer de la lentille comme on peut le voir sur la figure 5.

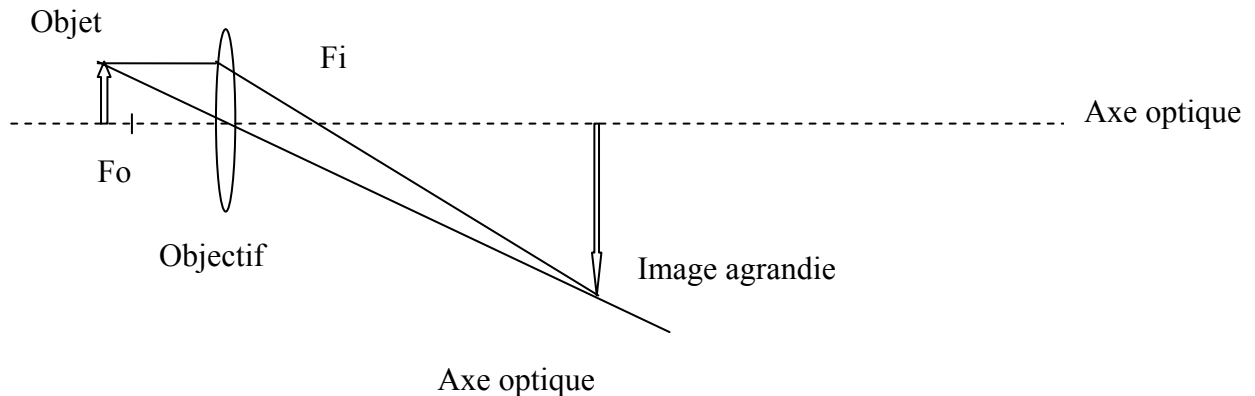


Figure.5 Grandissement par un objectif de microscope

L'ouverture numérique (NA) est une caractéristique essentielle d'un objectif (figure 5). Elle dépend directement de l'indice de réfractifs du milieu, de l'angle formé par les trois points à savoir le centre de la lentille, le foyer objet et le bord de la lentille. Plus cet angle sera grand meilleure sera la résolution. Deux autres caractéristiques de l'objectif dépendent de NA : ce sont la de travail et la profondeur de champ Δz .

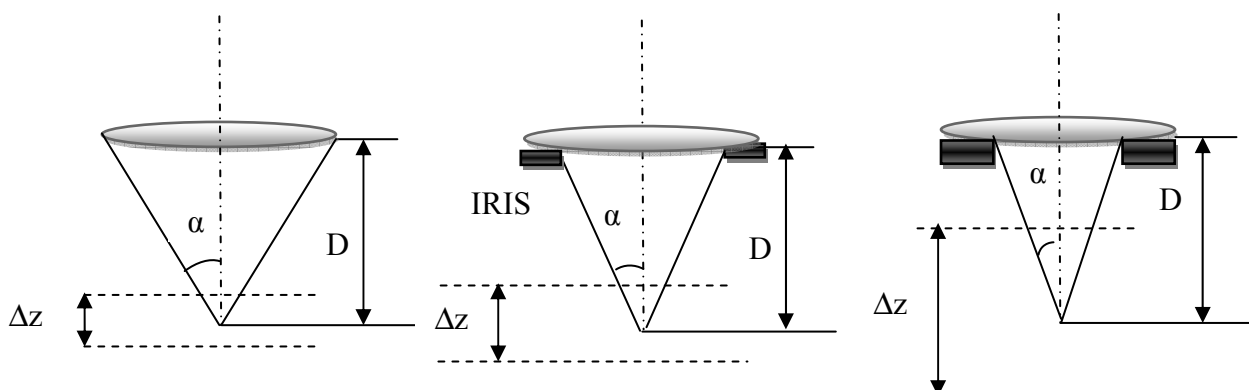


Figure 6 , L'ouverture numérique caractérisé par l'angle α et déterminé la distance de travail et la profondeur de champ Δz .

La formule de l'ouverture numérique NA s'écrit comme :

$$NA = n \times \sin \alpha \quad (5)$$

Où : α est le demi-angle du cône et n est l'indice de réfraction du milieu

L'objectif de microscope que nous avons utilisé pour la focalisation du faisceau laser est de type Nacet Vision dont la valeur gravée est x4 du grandissement de l'objectif qui est fonction de la lentille du tube f_2 qui est fixé à la valeur 200 mm. L'ouverture numérique $NA = 0.1$ et la distance de travail est de 15mm. Cet objectif de microscope a été traité anti reflet pour la plage visible de 400 à 700 nm.

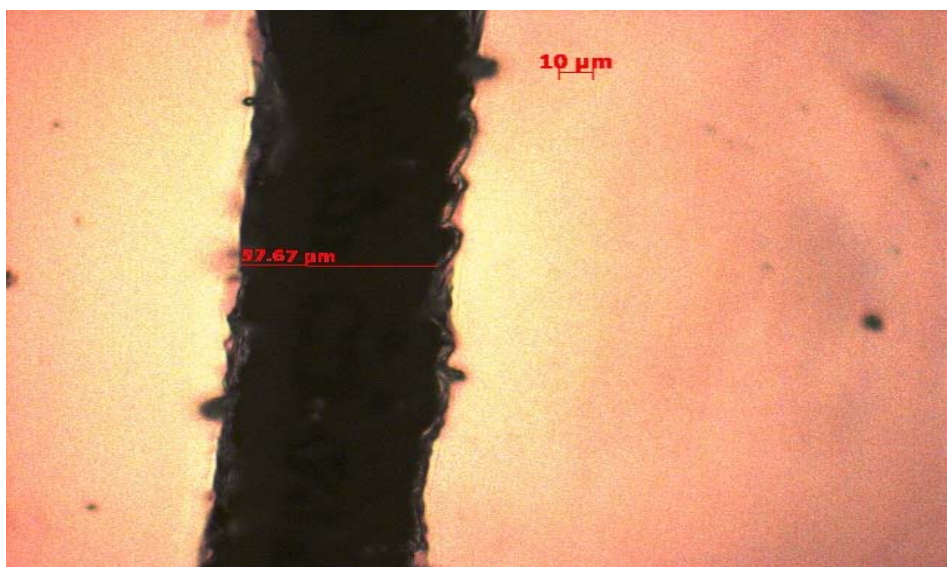


Figure 7, Trait continu (pas de la table 20 μm) de 57.67 μm d'épaisseur sur substrat en verre a été obtenu par ablation laser (100 $\mu\text{J}/\text{pulse}$ @ $\lambda=532\text{nm}$) d'une couche mince en Chrome

Conclusion

Le système à écriture directe par ablation laser Nd : YAG que nous avons mis au point, nous a permis de réaliser de la micro-gravure sur une couche fine déposée sur des substrats en verre. Des traits de 60 μm de largeurs ont été obtenus au moyen d'un objectif de type Nachet Vision (NA=0.1). La microscopie optique a été utilisée pour caractériser les différentes structures gravées.

Ces résultats peuvent être améliorés par l'utilisation d'un objectif de précision pour laser avec une ouverture numérique plus grande par exemple NA=0.6 et une distance de travail acceptable.

Références

- [1] Lee S.K, Yoon K.K, Whang K.H, Na S.J. Surface and Coatings Technology 113, 63-74, (1999)
- [2] Venkatakrishnan K, Stanley P and LEN Lim J. Micromech. Microeng. 12, 775-779(2002)
- [3] Liang Y.Y, Tian F, Luo J.B, Yang G.G, Journal of Physics : Conference Series 48, 1031-1036, (2006)
- [4] A. Mensour Rapport Technique « stepper GCA8000 » Décembre (2005)
- [5] Newport Corporation, www.newport.com