



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

session 2011

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**GENIE OPTIQUE****option PHOTONIQUE****Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE****Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE****Durée 2 heures 30****coefficient 2,5**

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Matériel autorisé :**Calculatrice conformément à la circulaire n°99-186 du 16/11/1999**

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.

Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.

Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.

Tout autre matériel est interdit.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte : 6 pages numérotées de 1/6 à 6/6

PHOTOLITHOGRAPHIE PAR INSCRIPTION DIRECTE

Afin de réaliser des circuits optiques intégrés (**figure 1**) on insole un matériau photosensible aux ultra-violets : le matériau traité polymérise. L'excédant non insolé est éliminé.

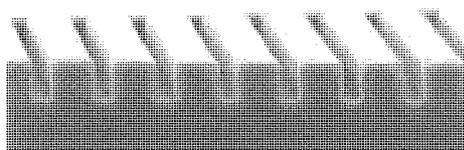


Figure 1 : Exemple de circuit optique intégré : Un guide d'onde

L'inscription peut se faire directement par déplacement de la couche photosensible du composant au niveau du point de focalisation d'un faisceau laser. Le déplacement du composant est réalisé par une table de translation micrométrique (**figure 2**)

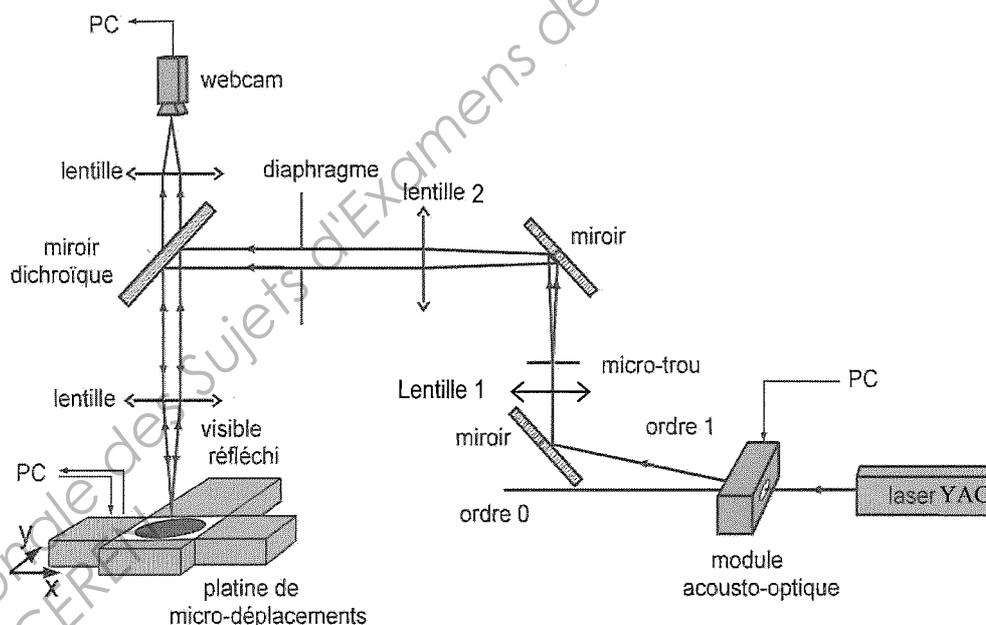


Figure 2 : Montage optique pour réaliser une photolithographie par inscription directe

Le laser YAG émet une radiation infra rouge quadruplée en fréquence afin d'obtenir une radiation ultra violette. La cellule acousto-optique permet de moduler la puissance du faisceau, cette modulation étant nécessaire en particulier pour éteindre le faisceau d'ordre 1. Les lentilles 1 et 2 élargissent le faisceau. Le diaphragme et le micro trou mettent en forme le faisceau laser afin d'obtenir un éclairage homogène. La dernière lentille focalise le faisceau sur la couche photosensible.

Le sujet est constitué de trois parties indépendantes :

Partie A : Etude de la source laser Nd-YAG

Partie B : Etude du modulateur acousto-optique

Partie C : Mise en forme du faisceau laser

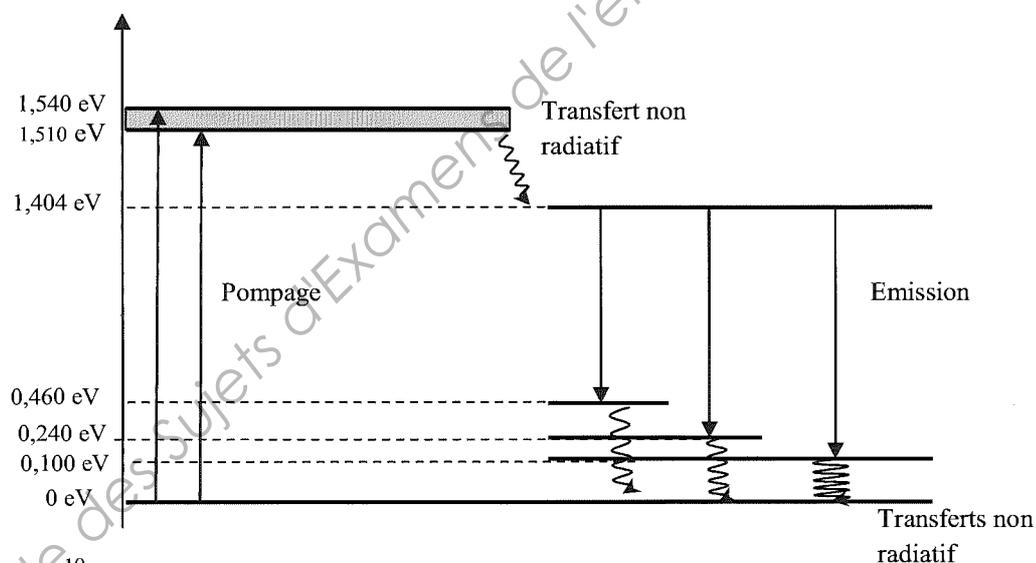
A. ETUDE DE LA SOURCE LASER ND-YAG (7 points)

Le laser Nd-YAG est un laser à solide. Le milieu actif est un Grenat d'Yttrium-Aluminium (d'où YAG) dopé avec des ions néodyme Nd^{3+} . Il fonctionne avec un pompage optique.

1. Longueurs d'onde émises et absorbées

Données :

Diagramme d'énergie simplifié de l'ion néodyme Nd^{3+}



$$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{- Constante de Planck : } h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$\text{- Célérité de la lumière dans le vide : } c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

On rappelle que la longueur d'onde λ caractéristique entre deux niveaux d'énergie E_1 et E_2 est

$$\text{donnée par : } \lambda = \frac{hc}{|E_1 - E_2|}$$

La radiation est émise si la variation d'énergie $E_1 - E_2$ est positive et absorbée si la variation d'énergie $E_1 - E_2$ est négative.

1.1. Déterminer les deux longueurs d'onde extrêmes λ_{\min} et λ_{\max} de la bande d'absorption du pompage.

1.2. Déterminer les trois longueurs d'onde susceptibles d'être émises par émission stimulée.

2. Génération d'harmoniques et accord de phase

Pour obtenir la radiation à 266 nm, le laser est quadruplé en fréquence. On utilise pour cela un cristal uniaxe biréfringent de BBO (Beta Barium Borate).

Pour obtenir un rendement de conversion maximal il faut que le dispositif vérifie les conditions d'accord de phase. Ici, il faut que la deuxième harmonique ($\lambda_2 = 532$ nm) et la quatrième harmonique ($\lambda_4 = 266$ nm) aient des vitesses de propagation dans le cristal de BBO identiques (accord de type I).

Données :

- Indices ordinaires et extraordinaires du BBO pour les différentes harmoniques :

$$\lambda_2 = 532 \text{ nm} \quad n_o^{532} = 1,6749 \quad n_e^{532} = 1,5555$$

$$\lambda_4 = 266 \text{ nm} \quad n_o^{266} = 1,7571 \quad n_e^{266} = 1,6146$$

- Vitesse de l'onde ordinaire : $V_o = \frac{c}{n_o}$ avec $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

- Vitesse de l'onde extraordinaire dépendant de la direction de propagation θ :

$$V_e = c \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{n_e^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2}}$$

- Direction de propagation utilisée : $\theta_a = 47,7^\circ$

2.1. Expliquer le terme « quadrupler en fréquence ».

2.2. Quelle est la longueur d'onde d'émission du laser Nd-YAG utilisée initialement pour obtenir $\lambda_4 = 266$ nm ?

2.3. La longueur d'onde $\lambda_2 = 532$ nm se propage comme l'onde ordinaire. Déterminer sa vitesse de propagation dans le cristal de BBO.

2.4. La longueur d'onde $\lambda_4 = 266$ nm se propage comme l'onde extraordinaire dans la direction θ_a par rapport à l'axe optique du cristal. Déterminer sa vitesse de propagation dans le cristal de BBO.

2.5. Montrer que l'accord de phase est réalisé dans la direction θ_a .

B. ETUDE DU MODULATEUR ACOUSTO-OPTIQUE (7 points)

Le modulateur acousto-optique est constitué d'un cristal d'oxyde de silicium (SiO_2), une onde acoustique de haute fréquence traverse la cellule parallèlement aux dioptrés d'entrée et sortie des faisceaux lumineux (**figure 3**).

Le système se comporte comme un réseau dont le pas est égal à la longueur d'onde Λ de l'onde acoustique.

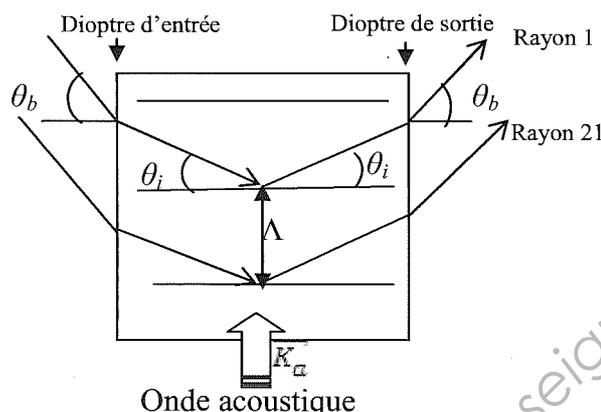


Figure 3 : modulateur acousto-optique

Données :

- Longueur d'onde de la radiation incidente : $\lambda = 266 \text{ nm}$
- Indice de réfraction de l'oxyde de silicium (SiO_2) : $n = 1,46$
- Vitesse du son dans l'oxyde de silicium : $v = 5900 \text{ m.s}^{-1}$
- Fréquence de l'onde acoustique : $f = 180 \text{ MHz}$
- Puissance moyenne du laser utilisée : $P = 12 \text{ mW}$.

1. Déterminer la longueur d'onde Λ de l'onde acoustique.
2. Dans les conditions de Bragg, seuls deux ordres d'interférences émergent de la cellule. On appelle angle de Bragg θ_b .
 - 2.1. A partir du schéma (**figure 3**), déterminer la différence de marche entre les rayons 1 et 2 en fonction de θ_b .
 - 2.2. En déduire l'expression de la différence de marche en fonction de θ_i .
 - 2.3. Montrer que θ_b vérifie l'équation : $\sin \theta_b = \frac{\lambda}{2\Lambda}$, pour l'ordre d'interférence 1.
 - 2.4. Calculer numériquement θ_b .

2. Etude du système afocal

La lentille 2 est mince, convergente de focale 160 mm. Elle réalise avec la lentille 1 un système afocal.

2.1. Faire un schéma optique d'un dispositif afocal à deux lentilles convergentes. Construire le trajet d'un rayon lumineux parallèle à l'axe optique à l'entrée du système.

2.2. Déterminer les caractéristiques (waist, demi-divergence et distance de Rayleigh) du faisceau émergent.

3. Dimensionnement du masque et focalisation

Dans la suite, on suppose que le rayon au waist du faisceau est constant et vaut $\omega = 4,0$ mm. On souhaite que l'intensité du faisceau soit homogène. Pour cela on masque le bord du faisceau avec un diaphragme circulaire.

3.1. On tolère une variation d'intensité de 10 % entre le centre et les bords du faisceau conservé. Déterminer le diamètre D du diaphragme pour conserver la partie exploitable du faisceau.

3.2. La lentille de focalisation est convergente de distance focale 10 mm.

3.2.a. Déterminer le diamètre D' de la tache de focalisation connaissant l'expression du waist

$$\text{image : } \omega' = \frac{\lambda f'}{\pi \omega}$$

3.2.b. Quelle est la dimension minimale du guide d'onde réalisable ?