COMPOSANTS ACOUSTO-OPTIQUES ET APPLICATIONS

F. LE FOUILLER et J.-P. PICAULT

CNRS, Observatoire de Meudon, A.A. - SA, France

TABLE DES MATIERES :

1. Historique
2. Lexique
3. Principes physiques - Equations caractéristiques
 - 3.1. Conditions d'interaction
 - 3.2. Construction des vecteurs d'onde
 - 3.3. Caractéristiques de la lumière diffractée
4. Effets acousto-optiques sur le faisceau lumineux
5. Constitution d'une cellule de Bragg
6. Applications
 - 6.1. Modulateurs
 - 6.2. Déflecteurs
 - 6.3. Shifter de fréquence
 - 6.4. Filtres acousto-optiques accordables (AOTF)
7. Conclusion

1. HISTORIQUE :

- La diffraction de la lumière par une onde acoustique se propageant dans un milieu d'interaction a été prévue par Brillouin, dès 1922.
- En 1932, Debye et Sears, Lucas et Biquard réalisaient les premières vérifications expérimentales du phénomène.
- Le cas particulier de diffraction dans un seul ordre, sous un certain angle d'incidence lumineuse, également prévu par Brillouin, a pu être observé dès 1935 par Rytow.
- Raman et Nath (1937) ont conçu un modèle théorique général de l'interaction à plusieurs ordres. Ce modèle a été développé par Phariseau (1956) pour la diffraction ne comportant qu'un seul ordre de diffraction.

A cette date, l'interaction acousto-optique n'était qu'une belle expérience de laboratoire. L'une des seules applications était la mesure de constantes et de coefficients acoustiques.

L'avènement du laser est à l'origine de l'essor des applications acousto-optiques, essentiellement pour la déflexion et la modulation de la lumière et le traitement du signal. Les composants acousto-optiques bénéficient également des progrès techniques en cristallogénèse et en transduction piezoélectrique à hautes fréquences.

.../...

2. LEXIQUE :Cellule de Bragg :

Dispositif acousto-optique (Déflecteur, Modulateur, ...)

Ordre "0" - Ordre "1" :

Ils correspondent respectivement au faisceau lumineux directement transmis et au faisceau lumineux diffracté par le réseau acoustique.

Angle de Bragg (θ_B) :

Cet angle correspond à l'angle d'incidence sur le faisceau acoustique pour permettre l'apparition d'un seul ordre de diffraction.

Angle de séparation entre ordre "0" et ordre "1" (θ) :

Il est égal à l'écart angulaire entre le faisceau lumineux transmis dans l'ordre "0" et le faisceau dévié pour une fréquence acoustique donnée.

.../...

Bande passante acousto-optique (ΔF) :

L'interaction acousto-optique a lieu à une fréquence particulière correspondant à l'angle de Bragg. Autour de cette fréquence centrale, on peut définir une bande passante dans laquelle la condition d'accord de Bragg est encore suffisante pour permettre l'obtention d'une certaine efficacité de diffraction.

Angle de déflexion maximum ($\Delta\theta$) :

Il correspond à l'écart angulaire maximum des faisceaux déviés dans une bande passante ΔF .

Temps de montée (τ_m) :

Il est directement relié au temps d'établissement du réseau de phase dans la pupille utile du cristal.

Bande passante de modulation :

C'est la bande de modulation en amplitude du faisceau lumineux. Elle est liée au temps de montée.

Efficacité :

L'intensité lumineuse diffractée dans l'ordre "1" rapportée à l'intensité de l'onde lumineuse incidente définit l'efficacité du dispositif acousto-optique.

.../...

Taux d'extinction :

C'est le rapport entre la puissance lumineuse max. dans l'ordre "1" et la puissance min. dans cette même direction.
Il donne une indication sur le nombre de niveaux distincts de lumière accessible.

Shift de fréquence :

Il existe un décalage en fréquence entre la lumière diffractée et la lumière non diffractée (voir conservation de l'énergie).

Résolution :

Le nombre de points de résolution correspond au nombre de directions distinctes des faisceaux lumineux déviés.

DIVA :

Angle de diffraction de l'onde acoustique générée dans le cristal.

DIVO :

Angle de divergence du faisceau lumineux incident sur le faisceau acoustique.

Puissance RF :

Puissance électrique de commande du dispositif acousto-optique.

Puissance acoustique :

La puissance acoustique est générée dans le cristal à partir d'un signal électrique excitant un transducteur piezoélectrique.
Le rendement global étant inférieur à 1, la puissance acoustique est plus faible que la puissance électrique RF.
.../...

3. PRINCIPES PHYSIQUES - EQUATIONS CARACTERISTIQUES :

Le faisceau acoustique se propageant dans le milieu d'interaction crée un réseau de phase en mouvement. L'onde lumineuse incidente est alors diffractée sur ce réseau. Son pas est fixé par la longueur d'onde acoustique. L'intensité des ordres diffractés et le décalage Doppler en fréquence dépendent des conditions d'interaction.

3.1. Conditions d'interaction :

Le facteur de qualité $Q = 2 \pi \lambda_o L / n \Lambda^2$

- λ_o : longueur d'onde lumineuse
- n : indice du milieu
- L : largeur du faisceau acoustique
- Λ : longueur d'onde acoustique

renseigne sur le régime d'interaction.

1. $Q \ll 1$: Cette condition favorise le régime de Raman-Nath. L'incidence lumineuse est normale au faisceau acoustique. Plusieurs ordres de diffraction coexistent (ce régime de diffraction est peu utilisé, excepté pour verrouiller un seul mode du laser : Mode-locker).
2. $Q \gg 1$: Cette situation correspond au régime de Bragg (par association à la diffraction des rayons X par les réseaux cristallins). Pour un angle d'incidence particulier (θ_B), un seul ordre de diffraction est maintenu. Tous les autres ordres sont supprimés par interférences destructives. Comme il est indiqué Figure 1, une grande longueur d'interaction (L) favorise la diffraction dans l'ordre 1.

.../...

- Figure 1 -

.../...

3.2. Construction des vecteurs d'onde :

L'interaction acousto-optique peut être représentée par les vecteurs d'onde.

La conservation des moments donne : $\vec{k}_d = \vec{k}_i \pm \vec{K}$

où $k_i (= 2\pi n_i / \lambda_0)$ et $k_d (= 2\pi n_d / \lambda_0)$ sont les vecteurs d'onde lumineux incident et diffracté, et $K (= 2\pi F / v)$ le vecteur d'onde acoustique. (F) est la fréquence acoustique, (v) la vitesse acoustique, (n_i) et (n_d) sont respectivement des indices de l'onde lumineuse incidente et de l'onde lumineuse diffractée.

La conservation de l'énergie donne : $F_2 = F_1 \pm F$

La fréquence optique diffractée (F_2) est quasiment égale à la fréquence optique incidente (F_1).

Le décalage Doppler dû à la fréquence acoustique (F) peut être négligé pour une représentation vectorielle ($f_A \approx 10^{14} - 10^{15}$ Hz, $F \approx 10^8 - 10^9$ Hz).

L'interaction est dite isotrope lorsque les indices d'incidence et de réfraction sont égaux ($n_i = n_d$), Figure 2. Dans ce cas, l'angle d'incidence (θ_i) et l'angle de diffraction (θ_d) sont égaux.

- Figure 2 -

.../...

Dans un cristal anisotrope, une onde acoustique transversale (ou onde de cisaillement) crée un changement de polarisation de l'onde lumineuse lors de l'interaction.

Les indices d'incidence et de réfraction sont alors différents ($n_i \neq n_d$).

L'interaction est dite anisotrope, Figure 3.

- Figure 3 -

Dans ce dernier cas, une interaction tangente, Figure 4, permettra d'accroître la bande passante de l'interaction. Un écart angulaire (θ_a) de quelques degrés au dehors de l'axe de mode pur acoustique autorise un fonctionnement synchrone pour deux fréquences acoustiques F_1 et F_2 différentes, et évite une rediffraction de l'ordre "1" dans l'ordre "2".

- Figure 4 -

.../...

3.3. Caractéristiques de la lumière diffractée :

P₀ :

Puissance acoustique nécessaire pour diffracter au synchronisme toute l'énergie dans l'ordre "1".

Intensité de la lumière diffractée - Efficacité :

L'intensité de la lumière diffractée (I_1) dépend directement de la puissance acoustique (P) :

$$I_1 = I_0 \sin^2 \sqrt{\eta} ; \eta = \frac{\pi^2}{2\lambda_0^2} M_2 \frac{L}{H} P$$

où I_0 est l'intensité de la lumière incidente, M_2 le facteur de mérite dépendant du matériau d'interaction, L et H la largeur et la hauteur du faisceau acoustique, λ_0 la longueur d'onde lumineuse.

L'efficacité est traduite par le rapport I_1/I_0 .

$$\frac{I_1}{I_0} = \sin^2 \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_0}} ; P_0 = \frac{\lambda_0^2}{2 M_2} \frac{H}{L}$$

Angle d'incidence : angle de Bragg ($\theta_i = \theta_B$) :

$$\text{Cet angle vaut dans le milieu d'interaction : } \theta_B = \frac{\lambda \cdot F}{2v}$$

où λ ($=\lambda_0/n$) est la longueur d'onde lumineuse dans le cristal, v et F, la vitesse et la fréquence de l'onde acoustique.

Angle de déviation (θ) :

Pour une interaction isotrope, l'angle de déviation entre la lumière diffractée et la lumière transmise non diffractée vaut le double de l'angle de Bragg.

Pour une interaction anisotrope hors de l'axe de mode pur, le calcul de l'angle de diffraction devient plus compliqué car il dépend de n_o , n_a et θ_a .

.../...

Bande passante et asynchronisme de phase :

Que devient l'intensité de la diffraction d'une onde acoustique possédant une fréquence (F) différente de la fréquence d'accord de Bragg parfait (synchrone) (F_0), Figure 5.

- Figure 5 -

La résolution des équations de propagation, avec les conditions aux limites de l'interaction, donne une expression complexe de l'efficacité de diffraction.

$$I_0/I_1 = \eta \operatorname{sinc}^2 \left(\eta + \left(\frac{\Delta\phi}{2} \right)^2 \right)^{1/2}$$

où $\Delta\phi (= \Delta k \cdot L)$ est l'asynchronisme de phase. Rappelons que (L) est la longueur d'interaction.

Explicitons ce résultat dans le cas d'interaction isotrope.

L'asynchronisme de phase se calcule aisément : $\Delta\phi = \frac{\pi\lambda}{v} \cdot \frac{\Delta F}{2} / (\Lambda_0/L)$

* remarquons qu'au synchronisme $\Delta\phi = 0$ ($F = F_0$); l'efficacité est maximale.

* lorsque $\Delta\phi$ croît, l'efficacité décroît jusqu'à s'annuler. Il est donc nécessaire de maintenir une faible valeur de $\Delta\phi$.

* remarquons que $\Delta\phi$ est proportionnel à la bande passante ΔF et inversement proportionnel à la divergence du faisceau acoustique (Λ_0/L).

L'obtention d'une large bande passante ΔF autour de F_0 nécessite une grande divergence acoustique et donc le choix d'une dimension appropriée de la source acoustique.

Efficacité et bande passante sont deux grandeurs antagonistes.

4. EFFETS ACOUSTO-OPTIQUES SUR LE FAISCEAU LUMINEUX :

L'interaction acousto-optique à l'incidence de Bragg possède quatre propriétés essentielles :

- la déviat ion angulaire (θ) du faisceau diffracté est directement proportionnelle à la fréquence des ondes acoustiques. Les déflecteurs utiliseront naturellement cette propriété.
- l'intensité du faisceau diffracté est une fonction de la puissance acoustique. Cette propriété sera utilisée pour les modulateurs. Notons qu'en faible puissance acoustique, l'intensité diffractée est proportionnelle à cette puissance.
- un décalage de fréquence est consécutif à l'interaction du signal lumineux de fréquence (f_1) avec le signal acoustique de fréquence (F).

Le faisceau diffracté possèdera alors une fréquence ($F \pm f_1$). Cette propriété est utilisée dans les "frequency-shifters".

- une sélectivité en longueur d'onde ($\Delta\lambda$) est également réalisable à partir d'une source de largeur spectrale (λ). Cette dernière propriété est mise en oeuvre dans les acousto-optiques accordables.

Grandeurs de commande + Effets

F	+	θ
P	+	I_1/I_0
F	+	$f_1 + F$
F	+	$\Delta\lambda$

.../...

5. CONSTITUTION D'UNE CELLULE DE BRAGG :

Aux fréquences élevées (de quelques dizaines de Mégahertz au Gigahertz), des cristaux sont utilisés comme milieu d'interaction. Un transducteur piezoélectrique génère un signal ultra-sonore à partir d'un signal RF de commande.

.../...

Le transducteur est placé entre deux électrodes. L'électrode de masse joue également un rôle de collage sur le cristal de propagation. L'électrode supérieure délimite la zone active du transducteur.

L'épaisseur du transducteur est choisie en fonction des fréquences d'ultrasons à générer.

La hauteur (H) de l'électrode supérieure dépend du type d'application. Pour un modulateur elle doit être simplement choisie supérieure au diamètre du faisceau lumineux.

Pour un déviateur, elle est choisie afin de collimater le faisceau acoustique jusqu'au bout du cristal de propagation.

La largeur (L) de l'électrode est choisie en fonction de la bande passante et de l'efficacité nécessaires.

Une apodisation du signal acoustique peut être obtenue en optimisant la forme de l'électrode.

Modulateur à l'échelle 1

.../...

Longueur (D) du cristal	: 3 à 30 mm
Epaisseur du transducteur	: $1\text{ }\mu\text{m}$ jusqu'à $100\text{ }\mu\text{m}$
Epaisseur des électrodes	: $0,1\text{ }\mu\text{m}$ à $10\text{ }\mu\text{m}$

On remarque, sur ce dessin, le réseau d'adaptation électrique nécessaire pour adapter électriquement la cellule de Bragg à l'impédance de la source RF (en général 50 Ohms).

En effet, le transducteur piezoélectrique possède une impédance électrique composée, d'une partie purement capacitive et d'une autre partie réelle et imaginaire purement piezoélectrique.

.../...

TABLEAU DE DIVERS MATERIAUX

Matériau	Bande optique utile (μm)	Atténuation acoustique ($\text{dB}/\text{cm} \cdot \text{GHz}^2$)	Facteur de mérite (M_2) $10^{-15} \text{ s}^3/\text{kg} \cdot 0,633 \text{ ps}$	Fréquence centrale (MHz)	Bande passante (MHz)	Puissance RF Efficacité
TeO ₂ (mode I)	0.35 - 1.5	290	793	30 - 120	50	300 $\approx$ / W
PbMoO ₄ (mode L)	0.42 - 1.5	15	36,3	200 - 300	150	50 $\approx$ / W
Gap (mode L)	0.6 - 1.5	6	44,6	700 - 1000	500	30 $\approx$ / W
Ge	3 - 12		940	40 - 100	40	20 $\approx$ / W

.../...

6. APPLICATIONS :

L'acousto-optique permet de réaliser, avec un faisceau lumineux, des opérations (déviation, modulation ...) semblables à ce qu'il est possible d'accomplir avec un faisceau d'électrons, ceci sans les contraintes (vide, ...) inhérentes au faisceau d'électrons.

Ces composants étant principalement utilisés avec des faisceaux laser dont la distribution d'énergie est gaussienne, les équations qui suivent tiennent compte de cette distribution.

Définissons tout d'abord le temps d'interaction et le nombre de points de résolution d'un composant acousto-optique.

- le temps d'interaction ($\mathcal{T}$), correspond à la durée de la traversée du faisceau lumineux par les ondes élastiques ($\mathcal{T} = D/v$).

où (D) est le diamètre du faisceau lumineux et (v) la vitesse ultrasonore.

- le nombre de points de résolution théorique (N) est égal au nombre de directions angulaires distinctes des faisceaux lumineux diffractés dans une bande passante ΔF .

Il est égal au rapport de l'écart angulaire maximum ($\Delta\theta$) des faisceaux déviés correspondant à ΔF sur l'angle de diffraction ($\mathcal{S}\theta$) dû à la dimension finie (D) du faisceau lumineux.

$$N = \Delta\theta / \mathcal{S}\theta$$

$$\text{l'écart angulaire } \Delta\theta \text{ vaut : } \Delta\theta = \frac{\lambda \cdot \Delta F}{v}$$

L'amplitude lumineuse incidente est de la forme :

$$A(z) = A_0 \exp(-z^2/\omega_0^2)$$

Si la dimension (D) de la pupille du cristal correspond à la largeur à $1/e^2$ du faisceau lumineux ($D = 2\omega_0$), l'angle de diffraction vaut :

$$\mathcal{S}\theta = \frac{4}{\pi} \frac{\lambda}{D}$$

ou de façon plus générale, quel que soit le rapport entre la dimension de la pupille et la largeur du faisceau incident.

$$\mathcal{S}\theta = \alpha \frac{\lambda}{D} \quad (\alpha > 1)$$

.../...

Le nombre de points résolus est proportionnel au temps d'interaction (τ) et à la bande passante (ΔF). ($\propto$) traduit l'influence de la répartition lumineuse incidente.

6.1. Modulateur :

Un tel dispositif permet la modulation de l'intensité lumineuse. Une seule direction de déviation est souhaitable ($N=1$). Le temps de montée (τ_m) du modulateur est proportionnel au temps d'interaction (τ). Le temps de montée d'un modulateur performant doit être très court :

$$\tau_m = \beta \cdot \frac{D}{v} \quad (\beta: \text{constante})$$

D est le seul paramètre pour minimiser τ_m . A cette fin, on focalise la lumière incidente sur le faisceau acoustique.

D : diamètre du faisceau incident avant la lentille

F : focale de la lentille

DVO : largeur angulaire du faisceau lumineux incident

$D = \alpha \frac{\lambda}{D} F$: diamètre du faisceau lumineux dans le cristal d'interaction.

.../...

Limitations :

1. Pour permettre l'interaction, (L) doit demeurer suffisamment grand devant la longueur acoustique.
2. Le faisceau lumineux a une largeur angulaire (DIVO) non négligeable. Pour conserver l'efficacité de l'interaction sur toute la bande passante ΔF , il est nécessaire de réaliser l'accord de Bragg pour toute l'étendue du faisceau.

A cette fin, la divergence acoustique (DIVA) ($=\Lambda/L$ où Λ est la longueur d'onde acoustique et L la dimension de la source ultra-sonore) doit compenser la divergence lumineuse DIVO.

.../...

Si $DIV \gg DIVA$: l'asynchronisme est très important pour les directions d'incidence les plus éloignées de l'angle de Bragg. La section du faisceau lumineux diffracté est alors elliptique.

Si $DIV \ll DIVA$: la bande passante est réduite. Une divergence acoustique légèrement supérieure à la divergence lumineuse permet de négliger l'ellipticité tout en maintenant la bande passante.

3. Enfin, rappelons que l'efficacité du modulateur est fonction de $\sqrt{P/P_0}$ et que P_0 est inversement proportionnelle à L . Pour une valeur maximale de P_0 admissible par le cristal (qui tient compte de la tenue du cristal à la puissance RF), on atteint une limite de l'efficacité.

Caractéristiques habituelles :

- . Efficacité : 85 %
- . Temps de montée : ≥ 8 ns

Applications :

- . Imprimante laser,
- . Séparation des couleurs pour imprimerie,
- . Transmission d'un signal sur "porteuse lumineuse",
- . Tous systèmes d'écriture ou de lecture,
- . Q. Switch,
- . Mode-locker,

Application particulière :

- . Modulateur multifaisceaux. Plusieurs fréquences discrètes ($F_1, F_2, \dots, F_N$) appartenant à la bande passante du modulateur sont envoyées dans le modulateur. Les faisceaux diffractés sont commandés séparément, dans des directions différentes.

.../...

Un système de balayage (par exemple déflecteur) dans la direction perpendiculaire permet, entre autre application, de former des caractères (imprimante).

.../...

6.2. Déflecteurs :

Ce composant est utilisé pour dévier la lumière.

Un grand nombre de points de résolution est souhaitable. A cette fin, on utilise des cristaux de grandes dimensions (jusqu'à 30 mm), de façon à ne pas diaphragmer le faisceau ce qui augmenterait sa divergence.

Résolution :

La résolution précédemment définie peut être qualifiée de résolution statique. Elle est définie pour passer d'un point P à un point P' en un temps supérieur ou égal au temps d'accès.

Quand le domaine des fréquences n'est plus constitué de valeurs discrètes mais d'un balayage continu, il est nécessaire de définir la résolution dynamique qui tient compte du "gradient" de fréquences.

.../...

La Fréquence est une fonction linéaire du temps.

En $z = 0$ (à l'entrée du cristal), la fréquence vaut :

$$F = F_0 + \frac{\Delta F}{T} t$$

En z , la fréquence vaut :

$$F = F_0 + \frac{\Delta F}{T} t - \frac{\Delta F}{T} \cdot \frac{z}{v}$$

L'angle de déviation (δ) est maintenant une fonction de la distance (z) et du temps (t).

$$\delta = \delta(z, t) = \frac{\lambda}{v} F = \frac{\lambda}{v} \left[F_0 + \frac{\Delta F}{T} \left(t - \frac{z}{v} \right) \right]$$

$$d\delta = \frac{\lambda}{v} \left(\frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{\partial F}{\partial z} dz \right)$$

En z et $z+dz$, l'angle de déviation n'est pas le même. Il y a focalisation, dans un seul plan, du faisceau diffracté. Il est important de remarquer cet effet de lentille cylindrique, intervenant lors de balayage séquentiel (télévision, téléreprographie ...).

La résolution dynamique traduit une diminution du nombre de points résolus consécutive à cet effet :

$$Nd = N \left(1 - \frac{\tau}{T} \right) + 1$$

- . Nd : résolution dynamique
- . N : résolution statique
- . τ : temps d'accès
- . T : temps de balayage

Exemples :

N	τ (μs)	T (μs)	Nd
1000	10	50	800
2500	50	50	1

.../...

Efficacité et bande passante :

- La bande passante est limitée à une octave pour éviter le recouvrement des ordres 1 et 2.
- La courbe d'efficacité en fonction de la fréquence est de la forme :

- Certaines applications nécessitent une efficacité quasi constante sur toute la bande passante. Ceci peut être obtenu en diminuant la largeur (L) du faisceau ultrasonore, mais au détriment de l'efficacité maximale.
- Cas particulier de l'interaction anisotrope : la bande passante de l'interaction anisotrope (Figure 4) peut être augmentée. Il suffit d'accroître très légèrement (quelques milliradians pour TeO₂) l'angle d'incidence par rapport à la position d'accord de Bragg parfait à la fréquence centrale (Figure 6).

.../...

- Figure 6 -

- . L'obtention d'une large bande passante ($\gg 500$ Mhz) impose une très faible largeur du faisceau acoustique. Ceci favorise le rendement acousto-optique. L'optimisation des couches de collage et du réseau d'adaptation permet de limiter les pertes d'origine électrique.

Applications :

- . Génération d'images,
- . Compensation des erreurs angulaires des miroirs polygonaux,
- . Cavity dumper (le composant acousto-optique est placé dans la cavité laser et permet d'obtenir des pulses laser de grande puissance),
- . application particulière 1 :

Analyseur de spectres radiofréquences (Figure 7) :

Le signal RF à analyser est transformé en un signal acoustique de même fréquence. Le faisceau lumineux incident est dévié d'un angle proportionnel à la fréquence présente dans le cristal avec une intensité proportionnelle à la puissance RF (vrai uniquement aux puissances faibles).

... / ...

- Figure 7 -

Il est alors possible de réaliser l'analyse spectrale en temps réel d'un signal RF limitée simplement par le temps d'accès du déflecteur. Le faisceau laser incident est collimaté et agrandi pour éclairer toute l'ouverture du cristal et permettre ainsi l'obtention d'un grand nombre de points de résolution. Le faisceau lumineux diffracté issu du déflecteur est focalisé sur une caméra CCD à l'aide d'une lentille de Fourier. Le signal diffracté est converti et peut être intégré.

Il est possible de réaliser des systèmes d'analyse particulièrement compacts et de faible consommation.

. Application particulière 2 :

"Scophony" :

Une onde porteuse de fréquence F_0 est modulée par un signal vidéo.

- . L'angle de déviation est fixé par la fréquence de la porteuse.
- . L'efficacité du défecteur est fonction de la distance (x).
- . Quand le défecteur contient le signal vidéo correspondant au temps d'accès (Z), un flash laser donne un signal lumineux dévié, image du signal vidéo.

6.3. Shifter de fréquence :

Ces composants utilisent la modification de fréquence du signal lumineux dévié ($f_2 = f_1 \pm F$). Toutes les applications d'hétérodynage optique peuvent faire appel à cette propriété.

Les shifters de fréquence sont également utilisés en anémométrie et vélocimétrie laser.

6.4. Filtres acousto-optiques accordables (AOTF) :

L'extraction d'une composante spectrale d'une source lumineuse peut être réalisée par l'interaction acousto-optique.

L'angle de déviation d'un déflecteur acousto-optique est proportionnel à la longueur d'onde lumineuse. Il est donc possible d'extraire une longueur d'onde particulière. La résolution spectrale est alors limitée par la diffraction due à la dimension (D) finie du faisceau lumineux. La limite de la largeur spectrale s'en déduit :

$$\Delta\lambda_0 = \lambda_0 \frac{v}{D} \frac{1}{F}$$

Une bonne résolution ($\lambda_0/\Delta\lambda_0$ élevée) impose une grande dimension (D) du faisceau lumineux. L'ouverture numérique de tels systèmes est donc obligatoirement très faible et leur utilisation très limitée.

L'interaction anisotrope colinéaire (Figure 8), permet d'accorder le filtre par simple variation de la fréquence acoustique, sous des ouvertures numériques importantes.

- Figure 8 -

L'interaction anisotrope non colinéaire, Figure 9, est également utilisable sous un angle d'incidence élevé ($\theta_i \gg 10^\circ$).

Cette dernière configuration permet l'emploi de matériau à coefficient de mérite élevé (TeO₂).

.../...

- Figure 9 -

On peut montrer qu'une grande ouverture angulaire est permise tant que les tangentes au point d'incidence et de synchronisme sont parallèles (les rayons lumineux sont alors parallèles dans le cristal).

Une grande longueur d'interaction (L) et une configuration adéquate des vecteurs d'onde (synchronisme sur un faible domaine de K) garantissent l'obtention d'une faible bande passante et donc une faible largeur spectrale ($\Delta\lambda$).

$$\lambda = a \cdot \frac{\Delta n(\lambda)}{F}$$

$$\Delta\lambda = b \cdot \frac{\lambda^2}{L}$$

Δn : biréfringence ($= |n_1 - n_2|$)

a et b sont des paramètres dépendant de θ_i et θ_d).

.../...

Exemple : Te O2

Biréfringence du cristal en fonction de la longueur d'onde

Sélection de la longueur d'onde par la fréquence RF de commande

Largeur spectrale obtenue en fonction de la longueur d'onde sélectionnée

Réponse de l'AOTF

. Caractéristiques :

Le faisceau transmis et le faisceau diffracté peuvent être séparés spatialement ou à l'aide de polariseurs.

- . peut travailler en lumière polarisée,
- . temps d'accès à une longueur d'onde : $10\mu s$
- . balayage temporel du spectre : $10ms$
- . autocalibration possible entre chaque mesure,
- . modulation temporelle et détection synchrone,
- . accès aléatoire ou séquentiel des longueurs d'onde.

Exemple : Te 02

- . bande optique balayée : 360 à 700 nm
- . fréquences de commandes associées : 270 à 125 MHz
- . temps d'accès : $6\mu s$

. Applications :

Le développement de ces dispositifs est récent, de nombreuses applications sont encore à venir. La vitesse des mesures et l'absence de fente d'entrée sont les spécifications remarquables des filtres acousto-optiques.

- . Imagerie multispectrale (l'AOTF est inséré dans le système imagerie),
- . Analyse spectrale.

.../...

La fiabilité et l'emploi industriel des lasers ont ouvert des débouchés importants aux composants acousto-optiques qui sont d'ores et déjà utilisés dans des systèmes de grande diffusion.

et à toutes autres applications que vous découvrirez...

—:—:—:—:—:—:—:—:—:—:—