

GÉNÉRATION D'ONDES CARRÉES DANS UN LASER À CASCADES QUANTIQUES SOUMIS À UNE CONTRE-RÉACTION OPTIQUE EXTERNE ET À UNE ROTATION DE POLARISATION

O Spitz, A Herdt, M. Carras, W Elsässer, F. Grillot

▶ **To cite this version:**

O Spitz, A Herdt, M. Carras, W Elsässer, F. Grillot. GÉNÉRATION D'ONDES CARRÉES DANS UN LASER À CASCADES QUANTIQUES SOUMIS À UNE CONTRE-RÉACTION OPTIQUE EXTERNE ET À UNE ROTATION DE POLARISATION. Journées Nationales d'Optique Guidée, Jul 2019, Palaiseau, France. hal-02342891

HAL Id: hal-02342891

https://telecom-paris.hal.science/hal-02342891

Submitted on 1 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GÉNÉRATION D'ONDES CARRÉES DANS UN LASER À CASCADES QUANTIQUES SOUMIS À UNE CONTRE-RÉACTION OPTIQUE EXTERNE ET À UNE ROTATION DE POLARISATION

O. Spitz[1,2], **A. Herdt**[3], **M. Carras**[2], **W. Elsäßer**[3], **F. Grillot**[1,4]

[1] *LTCI Télécom ParisTech, Université Paris-Saclay, 46 rue Barrault, Paris, 75013, France*
[2] *mirSense, Centre d'intégration NanoInnov, 8 avenue de la Vauve, Palaiseau, 91120, France*
[3] *Technische Universität Darmstadt, Schlossgartenstraße 7, D-64289 Darmstadt, Germany*
[4] *Center for High Technology Materials, University of New-Mexico, Albuquerque, NM 87106, USA*

olivier.spitz@telecom-paristech.fr

RÉSUMÉ

Les lasers à cascades quantiques sont connus pour leur dynamique non-linéaire lorsqu'ils sont soumis à une contre-réaction optique. Nous montrons que l'ajout d'une rotation de polarisation peut provoquer un autre phénomène non-linéaire, à savoir une onde carrée, avec l'apparition d'une onde transverse électrique en plus de celle transverse magnétique.

MOTS-CLEFS : *lasers à cascades quantiques, moyen-infrarouge, contre-réaction optique, dynamique non-linéaire, retournement de polarisation*

1. INTRODUCTION

La technique consistant à réinjecter le signal d'un laser tout en effectuant une rotation de la polarisation peut permettre de modifier les propriétés d'émission de ces lasers lorsque le taux de contre-réaction optique est important. Les travaux numériques et expérimentaux menés sur des lasers à semiconducteurs, comme les diodes lasers ou les VCSELs, ont montré la présence d'ondes carrées en plus des émissions chaotiques généralement observées. Ces ondes carrées sont réparties entre le mode transverse électrique (TE) et le mode transverse magnétique (TM). Dans le cas des VCSELs [1], l'émission free-running peut être répartie à égalité entre le mode TM et le mode TE, ce qui permet d'envisager une onde carrées émise à la fois sur le mode TE et sur le mode TM. En revanche, l'émission TM est presque neutralisée dans le cas des diodes laser mais, étonnamment, ces dernières émettent aussi une onde carrée répartie sur les deux polarisations avec un déphasage de π lorsque'elles sont soumises à une contre-réaction optique avec retournement de polarisation [2]. Les lasers à cascades quantiques (LCQs) sont des sources laser à semiconducteurs qui émettent dans le moyen-infrarouge et l'infrarouge lointain grâce aux transistions intersousbandes. Ce phénomène d'émission contraint théoriquement l'émission des LCQs au mode TM [3]. Néanmoins, plusieurs expériences ont montré que cette règle de sélection n'était pas toujours intégralement respectée, à la fois dans les QWIPs [4] et dans les LCQs [5], où le ratio TE/TM peut être de l'ordre de 1%. Cette étude explore pour la première fois le comportement d'un LCQ lorsqu'il est soumis à une contre-réaction optique avec retournement de polarisation. Malgré une émission TE extrêmement minoritaire, le LCQ émet une onde carrée à la fois sur le mode TM et sur le mode TE. Nous dévoilons donc dans cette étude une méthode pour déclencher un phénomène périodique TE dans un LCQ.

2. MISE EN ŒUVRE EXPÉRIMENTALE

Le LCQ étudié est un laser monomode (DFB) qui émet autour de 5.7 μm au maximum de puissance lorsqu'il est alimenté en continu à 249 K. Son spectre d'émission est présenté en figure 1 a). Le fait d'alimenter le laser avec un signal continu conduit à une forte production de chaleur par effet Joule qui nécessite que la structure soit enterrée afin d'optimiser la dissipation thermique, comme montré en figure 1 b). Les différents éléments du dispositif expérimental sont détaillés en figure 1 c). Ce dernier est composé de deux voies séparées par une lame semi-réfléchissante : l'une d'entre elles permet de contrôler la contre-réaction optique externe et le retournement de polarisation grâce à un miroir plaqué

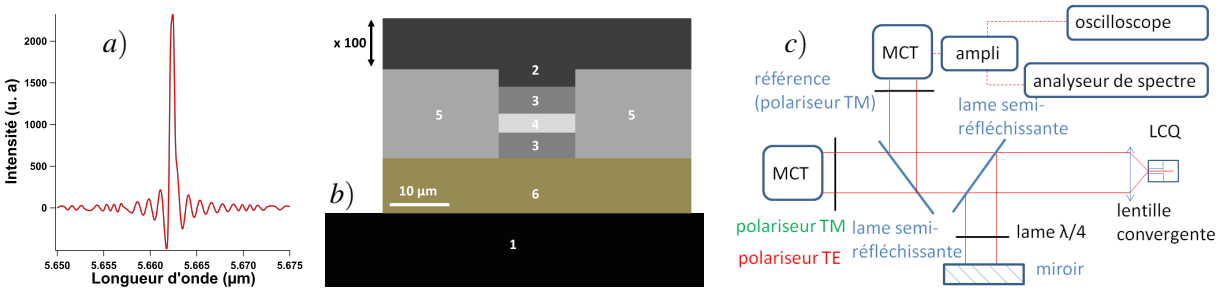


FIGURE 1 : a) spectre optique du LCQ étudié au maximum de puissance et à 249 K, obtenu avec un interféromètre à Transformée de Fourier ; b) schéma d'un LCQ monté down avec l'embase (1), le substrat (2), le guide d'onde (3), la zone active (4), le diélectrique (5), la métallisation (6) ; c) montage expérimental permettant conjointement d'appliquer une contre-réaction optique avec retournement de polarisation et d'analyser le signal.

or et une lame $\lambda/4$. Si cette lame est orientée à 45 degrés, l'onde TM émise par le LCQ parcourt la cavité externe et est tournée de 90 degrés pour devenir TE avant d'être réinjectée. L'autre voie permet de détecter le signal grâce à un détecteur MCT (mercure-cadmium-tellure) avec une bande passante de 50 MHz (KMPV50-0.5-J2) relié à un oscilloscope rapide (Tektronix TDS6154C) et à un analyseur de spectre avec une capacité d'analyse temps-réel de 110 MHz (Tektronix RSA6114A). Un deuxième détecteur MCT est placé à proximité du premier afin de servir de référence pour comparer le déphasage entre le signal TM et le signal TE.

3. RÉSULTATS

Lorsque un LCQ est soumis à une contre-réaction optique externe sans retournement de polarisation, des oscillations ou des fluctuations basses fréquences (LFF) peuvent apparaître en fonction du taux de contre-réaction [6]. La figure 2 a) montre une succession de chutes d'amplitude brusques, séparées par des intervalles de temps distincts, qui correspondent au LFF. Dans ce cas de figure, le motif LFF n'est visible que dans la partie TM du signal du LCQ, et non dans la partie TE. L'une des caractéristiques des LFF est que le spectre électrique associé est large, puisqu'il s'agit d'une forme de chaos déterministe, comme en témoigne la figure 2 b). Si une rotation de polarisation est effectuée à l'intérieur de la cavité externe, le phénomène non-linéaire observé devient une onde carrée répartie entre le mode TM et le mode TE. Le spectre RF caractéristique est alors également modifié et ne comporte qu'une succession discrète de maxima, ce qui correspond bien au spectre d'un signal carré. La figure 3 a) montre les signaux TM et TE obtenus avec le même détecteur après rotation du polariseur placé devant le détecteur MCT. On constate qu'il existe un déphsage de π entre l'onde carrée TM et l'onde carrée TE. Ces résultats, où la répartition temporelle entre l'onde TM et l'onde TE est d'environ 50%, ont été obtenus lorsque la lame $\lambda/4$ était placée à 45 degrés. Le fait de tourner cette lame permet de faire varier la répartition temporelle, ainsi que la période des ondes carrées. La figure 3 b) montre que, lorsque la lame $\lambda/4$ est orientée à 35 degrés, il est possible d'obtenir des ondes carrées mais avec, cette fois-ci, une répartition temporelle de 35% pour la partie TM et 65% pour la partie TE. Les deux signaux restent cependant déphasés, les maxima de l'onde TM correspondant aux minima de l'onde TE. Ce dernier résultat confirme que le phénomène observé n'est pas lié à une réflexion parasite d'un des éléments optiques. Il est cependant important de souligner que les ondes carrées émises ont un temps caractéristique de l'ordre de la μs, contrairement aux résultats présentés pour les diodes laser [2] et les VCSELs [1], où le temps caractéristique est plus proche de la *ns* et correspond à la dynamique liée au retard induit par la cavité externe. Dans le cas des LCQs, la cavité externe joue donc un rôle dans le retournement de la polarisation mais pas dans le déclenchement périodique. Cette période de l'ordre de la μs est compatible avec les études qui ont récemment été menées dans le cas des lasers à boîtes quantiques qui, comme les LCQs, sont des lasers à semiconducteurs fortement amortis [7]. La prise en compte des paramètres thermiques dans le modèle permet d'obtenir des phénomènes avec des temps caractéristiques similaires à ceux que nous observons.

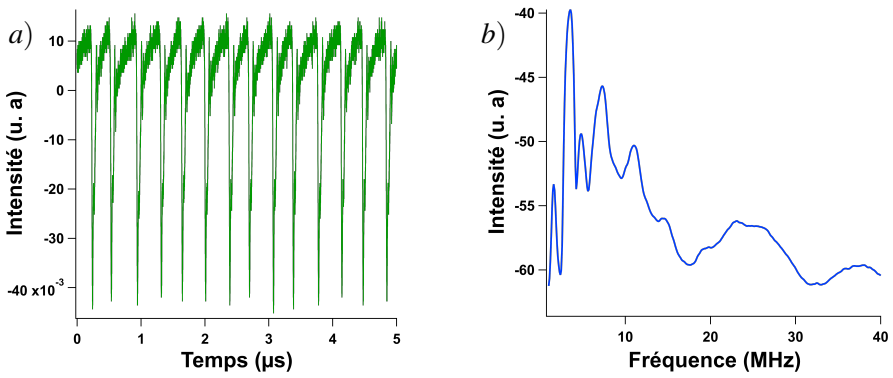


FIGURE 2 : a) trace temporelle expérimentale et b) spectre RF de l'onde TM émise par le LCQ lorsque la contre-réaction optique est appliquée sans retournement de polarisation. Dans ce cas, il n'y a pas de dynamique TE.

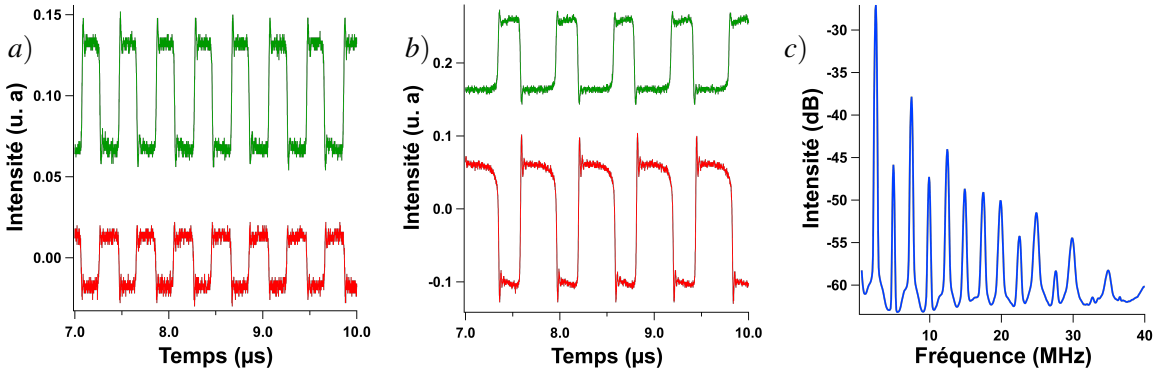


FIGURE 3 : a) traces temporelles expérimentales montrant le signal TM (en vert) et TE (en rouge) lorsque la lame $\lambda/4$ est placée à 45 degrés ; b) traces temporelles expérimentales montrant le signal TM (en vert) et TE (en rouge) lorsque la lame $\lambda/4$ placée à 35 degrés ; c) spectre RF correspondant au signal TM du premier graphe.

CONCLUSION

Cette étude expérimentale montre la présence d'une nouvelle dynamique non-linéaire dans les LCQs lorsqu'une rotation de polarisation est combinée à une forte contre-réaction optique, en particulier sur le mode TE qui est habituellement éteint. Le degré de polarisation de l'onde réfléchie permet de varier le rapport cyclique entre le mode TM et le mode TE. Ce phénomène ne peut cependant pas s'expliquer uniquement par une dynamique à retard comme dans le cas des VCSELs ou des diodes laser. Le facteur thermique doit donc jouer un rôle important, comme dans le cas des boîtes quantiques sous injection.

REMERCIEMENTS

Ce travail est soutenu par la DGA et l'ANR via le programme ANR-17-ASMA-0006.

RÉFÉRENCES

[1] C.-H. Uy et al., Optics Express 26, 16917-16924 (2018).
[2] A. Gavrielides et al., Optics Letters 31, 13 (2006).
[3] E. Rosencher & B. Vinter, *Optoelectronics*, Cambridge University Press (2002).
[4] H. C. Liu et al., Applied Physics Letters 72, 1682-1684 (1998).
[5] P. Janassek et al., Optics Letters 41, 305-308 (2016).
[6] L. Jumpertz et al., Light : Science and Applications 5, e16088 (2016).
[7] M. Dillane et al., Optics Letters 44, 347-350 (2019).