



La tesi doctoral d'Antonio Pérez fa una passa endavant cap als ordinadors del futur amb un nou model de làser de semiconductor d'anell

La tesi doctoral d'Antonio Pérez fa una passa endavant cap als ordinadors del futur amb un nou model de làser de semiconductor d'anell

L'estudi *Modeling Semiconductor Ring Lasers*, realitzat a l'Institut de Física Interdisciplinària i Sistemes Complexos (CSIC-UIB), demostra la fabricació i la caracterització per primera vegada d'un làser de caragol i planteja avenços clau per al disseny i la implementació d'aquesta tecnologia, que podria ser útil per crear memòries òptiques amb més capacitat de processar informació que les actuals

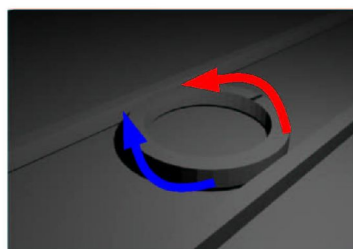
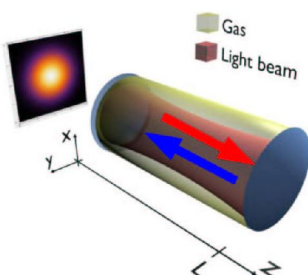
Palma. Gener de 2012

La tesi doctoral d'Antonio Pérez Serrano s'emmarca en la disciplina de la tecnologia electrònica, més concretament en l'optoelectrònica, i la física no lineal. L'estudi *Modeling Semiconductor Ring Lasers* tracta sobre el modelatge de làsers de semiconductor d'anell i se centra en la dinàmica no lineal, les propietats modals i l'estabilitat dinàmica que mostren aquests dispositius. La recerca d'Antonio Pérez significa una passa endavant en la caracterització i el modelatge d'aquest tipus de làsers, que pot servir de guia per al disseny i la implementació d'aquesta tecnologia per al seu ús en diferents aplicacions que des de fa anys són objecte d'interès científic, com ara el desenvolupament de memòries òptiques. La tesi s'ha realitzat a l'Institut de Física Interdisciplinària i Sistemes Complexos (IFISC, CSIC-UIB) i ha estat codirigida pel doctor Alessandro Scirè, investigador de l'IFISC (CSIC-UIB), i el doctor Salvador Balle, investigador de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA, CSIC-UIB).



Antonio Pérez Serrano, autor de la tesi. Foto: UIB

Els làsers d'anell són dispositius que mostren una gran riquesa de comportaments dinàmics. Aquesta riquesa és deguda a la presència de dos camps elèctrics que es propaguen en sentits oposats dins la cavitat òptica, i a la interacció entre un i l'altre a través del medi actiu, que és el responsable de proporcionar el guany dels camps. La peculiar cavitat òptica fa que els làsers d'anell mostrin més comportaments dinàmics que els làsers clàssics amb cavitat Fabry-Pérot.

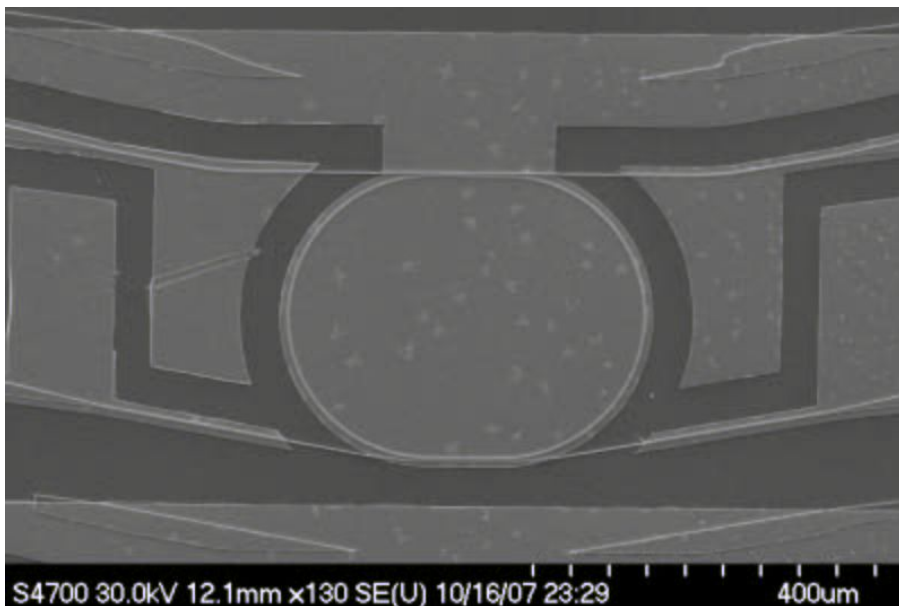


A l'esquerra, làser de gas amb cavitat Fabry-Pérot. A la dreta, làser de semiconductor d'anell.

La tesi doctoral d'Antonio Pérez fa una passa endavant cap als ordinadors del futur amb un nou model de làser de semiconductor d'anell

D'entre els diversos comportaments dinàmics que mostren els làsers d'anell, el règim d'emissió unidireccional biestable ha acaparat l'interès de la comunitat científica en la darrera dècada per les possibilitats que ofereix de cara al desenvolupament de memòries òptiques, amb molta més capacitat de processar informació digital que les memòries físiques actuals, i que podrien significar un salt endavant important en el món de les telecomunicacions. En aquest règim l'emissió és principalment en una direcció en un règim biestable, és a dir, el dispositiu és sensible a estímuls que poden fer canviar el sentit de l'emissió. Cadascun dels estats d'emissió es pot associar a una variable lògica per ser usat com a memòria òptica.

Un avantatge dels làsers d'anell fets de material semiconductor és que, gràcies al fet que són molt petits (els seus radis tenen entre 30 i 300 micròmetres), permeten la integració de diferents dispositius en un mateix xip per realitzar diferents funcions analògiques o digitals en el domini òptic. Aquesta característica els fa molt interessants per a la seva utilització en nombroses aplicacions relacionades amb l'emmagatzematge i la transmissió d'informació. Aquestes noves aplicacions motiven la creació de models més complexos que els existents, per servir de guia en el disseny de dispositius optimitzats per a situacions específiques.



Microfotografia d'un làser de semiconductor d'anell de 120 micròmetres de radi. Es poden veure les guies d'ona usades per a l'extracció i la injecció de llum, i els contactes elèctrics per alimentar el làser.

En aquest sentit, a la tesi d'Antonio Pérez s'han usat diferents models basats en una descripció semiclassical. En aquesta aproximació, la radiació electromagnètica es descriu mitjançant les equacions de Maxwell, mentre que la interacció radiació-matèria es descriu per mitjà de les equacions de Bloch, provinents de la física quàntica. Els models usats es poden dividir en dos grans blocs: (1) els models anomenats d'equacions de balanç (*rate equations*), basats en equacions diferencials ordinàries que no tenen en compte els efectes espacials i que històricament han tingut molt èxit en oferir bons resultats en ser comparats amb els experiments; i (2) els models basats en equacions diferencials parcials que tenen en compte els efectes espacials, anomenats models d'ones viatgeres (*traveling waves*).

Aquest darrer tipus de models presenten més complicacions des del punt de vista de l'anàlisi matemàtica i el tractament numèric que les equacions de balanç, no obstant això presenten avantatges com la descripció de forma natural del comportament multimodal (emissió en distintes longituds d'ona o colors de la llum) i poden ser aplicats a diferents tipus de làsers després de mínimes modificacions.

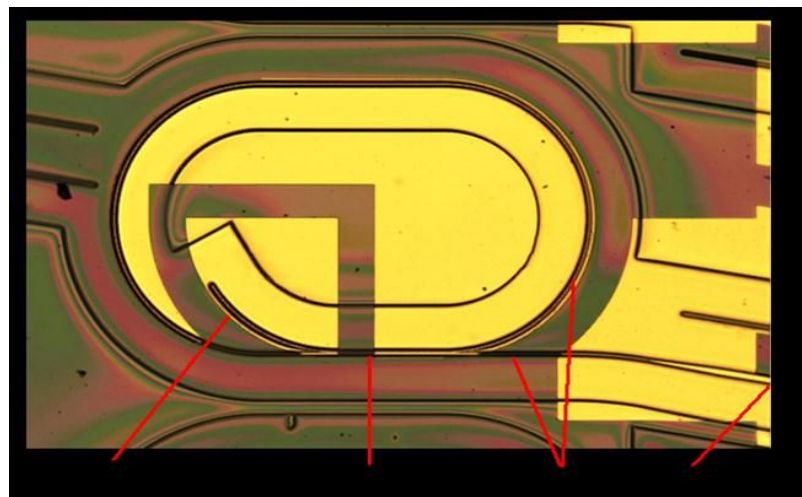
Des del punt de vista dels estudis basats en models d'equacions de balanç, s'ha tractat l'aplicació dels làsers d'anell de semiconductor al mesurament de rotacions inercials, és a dir, el seu ús com a giroscopi. També s'ha estudiat l'efecte del soroll d'emissió espontània en la dinàmica. Aquest efecte es tradueix en l'aparició d'un pic a l'espectre que pot ser usat per a una millor caracterització dels paràmetres d'aquests dispositius.

S'han fet estudis basats en el model d'ones viatgeres per al cas d'un medi format per àtoms de dos nivells i per a un medi semiconductor de pous quàntics (*quantum wells*). S'han desenvolupat eines per a l'obtenció de les solucions monocromàtiques i la realització de l'anàlisi d'estabilitat lineal d'aquest model. Aquestes eines s'utilitzen per estudiar l'estabilitat de les solucions monocromàtiques en aquests làsers i la coexistència de diferents solucions estables. Els resultats mostren que la longitud d'ona d'emissió d'aquests làsers pot ser seleccionada per injecció d'un camp extern, d'acord amb evidències experimentals. Això permet que es puguin usar aquests làsers per realitzar operacions lògiques d'ordre superior al binari i aplicacions de processament de senyals òptics

A la tesi també s'ha investigat la dinàmica multimodal amb el model d'ones viatgeres. Aquest estudi ens mostra una gran diversitat de comportaments, entre els quals cal destacar l'emissió bicromàtica, en què els dos camps elèctrics contrapropagants emeten a diferent longitud d'ona, i que pot tenir aplicacions per a la mesura de rotacions.

També s'han estudiat de forma experimental i teòrica les propietats modals de dispositius reals formats per una cavitat d'anell i guies d'ona per a la injecció i l'extracció de la llum. Els resultats mostren que l'impacte de la cavitat composta és notable en les modes o freqüències d'emissió. A més, l'estructura modal explica els salts en longitud d'ona (color de la llum) que ocorren en connexió al canvi de direcció d'emissió en augmentar el bombament elèctric quan el làser està encès.

Finalment, a la tesi es mostra un estudi experimental i teòric sobre un nou tipus de làser que es basa en el làser de semiconductor d'anell: el làser de caragol o *snail laser*. S'ha demostrat per primera vegada la seva fabricació i la seva caracterització. En resum, la tesi d'Antonio Pérez significa un pas endavant en la caracterització i el modelatge dels làsers de semiconductor d'anell que podrà servir de guia per al disseny i implementació futurs d'aquesta tecnologia per al seu ús en distintes aplicacions relacionades amb l'emmagatzematge i la transmissió d'informació.



Microfotografia del làser de caragol o *snail laser*.



Referència de la tesi

Títol: Modeling Semiconductor Ring Lasers
Autor: Antonio Pérez Serrano
Àrea de coneixement: Tecnologia Electrònica
Departament: Física
Directors: Alessandro Scirè i Salvador Balle
Qualificació: Excel·lent cum laude

Membres del tribunal

President

Dr. Ignacio Esquivias Moscardó
Departament de Tecnologia Fotònica
Universitat Politècnica de Madrid

Vocals

Dr. Ingo Fisher
Institut de Física Interdisciplinària i Sistemes Complexos
(CSIC-UIB)

Secretària

Dra. María Julia Arias Rodríguez
Departament de Ciència de Materials,
Òptica i Tecnologia Electrònica
Universitat Miguel Hernández d'Elx

Dr. Germán José de Valcárcel Gonzalvo
Departament d'Òptica
Universitat de València

Dr. Siyuan Yu
Departament d'Enginyeria Electrònica i Elèctrica
Universitat de Bristol

Publicacions relacionades

A. Pérez-Serrano, J. Javaloyes i S. Balle. «Longitudinal mode multistability in ring and Fabry-Pérot lasers: the effect of spatial hole burning», *Optics Express*, 19, 3284-3289 (2011).

A. Pérez-Serrano, J. Javaloyes i S. Balle. «Bichromatic emission and multimode dynamics in bidirectional ring lasers», *Physical Review A*, 81, 043817 (2010).

M. Strain, G. Mezösi, M. Sorel, A. Pérez-Serrano, A. Scirè, S. Balle, G. Verschaffelt i J. Danckaert. «Semiconductor snail lasers», *Applied Physics Letters*, 96, 121105 (2010).

A. Pérez-Serrano, R. Zambrini, A. Scirè i P. Colet. «Noise spectra of a semiconductor ring laser in the bidirectional regime», *Physical Review A*, 80, 043843 (2009).

A. Pérez-Serrano i A. Scirè. «Theoretical analysis of a new technique for inertial rotation sensing using a semiconductor ring laser», *IEEE Photonics Technology Letters*, 21, 917 (2009).

S. Fürst, A. Pérez-Serrano, A. Scirè, M. Sorel i S. Balle. «Modal structure, directional and wavelength jumps of integrated semiconductor ring lasers: Experiment and theory», *Applied Physics Letters*, 93, 251109 (2008).