

Mélange d'ondes en géométrie colinéaire avec des faisceaux de Laguerre-Gauss

Déborah Persuy¹, Marc Ziegler¹, Olivier Crégut¹, Kuntheak Kheng², Mathieu Gallart¹, Bernd Hönerlage¹, Pierre Gilliot¹

¹ Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg, UMR7504, CNRS-université de Strasbourg, B.P. 43, 23 rue du Lœss 67034 Strasbourg Cedex, France

² CEA/INAC/SP2M, 17 avenue des Martyrs 38054 Grenoble, France

Adresse email de l'orateur : persuy@ipcms.u-strasbg.fr

Les techniques de spectroscopie résolue en temps, construites autour des lasers à impulsions ultra-courtes, permettent d'explorer les cinétiques de relaxations, électroniques ou vibrationnelles, des objets étudiés sur des échelles de temps descendant à la femtoseconde en la couplant à leur mesure à celles de non-linéarités optiques. Mais elles se restreignent la plupart du temps à des mesures d'ensemble, la diffraction limitant la taille minimale du volume excité par un faisceau lumineux à, au mieux, quelques micromètres. Récemment, les techniques d'exploration optique de nano-objets et d'extension de la microscopie à des dimensions sub-longueur d'onde ont cependant connu une évolution soutenue [1,2]. Il a alors été montré que ce sont les objets étudiés eux-mêmes, *via* leurs non-linéarités, qui peuvent permettre de descendre à des résolutions dépassant la « barrière » de Rayleigh [3]. Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés à l'influence de la forme spatiale des faisceaux d'excitation sur la réponse non-linéaire d'un échantillon de semi-conducteur : nous montrons par le calcul et par l'expérience que dans une expérience de mélange à quatre ondes réalisée avec des faisceaux de Laguerre-Gauss (LG), le moment orbital angulaire des signaux générés est obtenu en combinant ceux des faisceaux incidents selon une relation similaire à la relation d'accord de phase des vecteurs d'onde dans une expérience de mélange d'onde usuelle (décrite par des ondes planes et utilisant des faisceaux gaussiens)[4].

Les modes de LG sont des solutions de l'équation de propagation de Helmholtz en symétrie cylindrique dont le profil transverse présente une forme annulaire. Les photons associés à de tels modes possèdent un moment orbital angulaire $L = l\hbar$ (avec l entier relatif appelé charge du moment angulaire orbital) dont la donnée remplace celle des composantes de leur moment cinétique k (ou vecteur d'onde) des descriptions en onde plane [5]. Une modélisation des signaux de mélange d'onde via les équations de Bloch optique, en développant la polarisation d'ordre 3 sur la base des modes de LG, montre que le processus non-linéaire doit non seulement respecter une condition d'accord de phase mais également la conservation du moment angulaire des faisceaux. Ainsi, pour des faisceaux incidents de vecteurs d'onde \vec{k}_a et \vec{k}_b et dont le moment orbital angulaire est caractérisé par les charges, l_a et l_b , respectivement, seront générés dans la direction $\vec{k}_m = 2\vec{k}_a - \vec{k}_b$ un signal de charge $l_m = 2l_a - l_b$ et dans la direction $\vec{k}_p = 2\vec{k}_b - \vec{k}_a$ un signal de charge $l_p = 2l_b - l_a$.

Nous avons vérifié expérimentalement la conservation de la charge du moment angulaire en réalisant une expérience de mélange à quatre ondes avec des faisceaux de Laguerre-Gauss dans un puit quantique de CdTe/CdZnTe [6]. Nous avons utilisé des faisceaux incidents de charges $l_a = 2$ et $l_b = 1$. Les profils transverses en intensité des signaux générés sont visibles sur la figure 1 : de part et d'autre des faisceaux incidents transmis, nous

observons un faisceau plein dans la direction \vec{k}_p et un faisceau de forme annulaire dans la direction \vec{k}_m , dont nous avons déterminé par interférométrie les moments orbitaux angulaires qui sont $l_p = 0$ et $l_m = 3$ et, respectivement. De plus, nous avons vérifié que ces signaux présentent la même dynamique temporelle de déphasage que celle des signaux obtenus avec des faisceaux gaussiens.

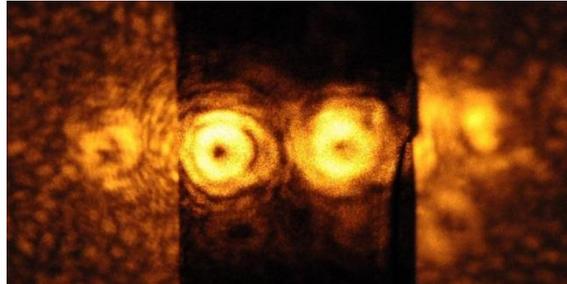


Figure 1 : Profil d'intensité des 4 faisceaux dans le plan transverse après l'échantillon. De gauche à droite : signaux dans la direction $\vec{k}_m, \vec{k}_a, \vec{k}_b, \vec{k}_p$.

Lorsque l'expérience est réalisée avec des faisceaux incidents colinéaires de charges $l_a = 2$ et $l_b = 1$, un des signaux de mélange d'onde générés possède un moment orbital angulaire $l = 0$ et une intensité non-nulle en son centre. Par conséquent, il est isolable spatialement des autres modes de valeur de $l \neq 0$ dont l'intensité est nulle sur l'axe de propagation. Grâce à ce procédé, nous mesurons le temps de cohérence des trions dans le puits quantique de CdTe avec des faisceaux d'excitation colinéaires. Nous faisons ainsi la démonstration expérimentale que le profil spatial des faisceaux de LG et la conservation du moment angulaire peuvent être mis à profit pour développer un montage expérimental de mélange à quatre ondes en géométrie colinéaire, configuration difficile à mettre en place avec des faisceaux gaussiens pour lesquels le signal est traditionnellement discriminé *via* sa direction de propagation donnée par son vecteur d'onde. L'utilisation de faisceaux de LG offre l'opportunité d'améliorer la résolution spatiale des expériences de mélange d'onde en travaillant au travers d'un objectif de microscope.

- [1] S.W. Hell, J. Wichmann, *Breaking the diffraction resolution limit by stimulated emission: stimulated-emission-depletion fluorescence microscopy*, Optics Letters **19**(11), 780(1994)
- [2] M.G.L Gustafsson, *Nonlinear structured illumination microscopy: wide field imaging with theoretically unlimited resolution*, PNAS **102**(37), 13081 (2005)
- [3] S.W. Hell, *Far-Field Optical Nanoscopy*, Springer Berlin Heidelberg (2010)
- [4] R. Levy, M.J.M. Gomes, B. Kippelen, B. Hönerlage, *Coherent signal generation in CuCl by light-induced grating and induced biexciton decay*, Physica Status Solidi (b) **21**(14), 1017 (1996)
- [5] M. Padgett, J. Courtial, L. Alleen, *Light's orbital angular momentum*, Physics Today **57**(5), 35 (2004)
- [6] K. Kheng, K. Saminadayar, N. Magnea, *Effect of confined electrons on the center-of-mass quantization states of exciton in wide modulation-doped CdTe/CdZnTe quantum wells*, Journal of Crystal Growth **184/185**, 849 (1998)