HAL open science

Corrélation croisée large bande à partir d'une photodiode à deux photons

Charles-Henri Hage, Franck Billard, Bertrand Kibler, Christophe Finot, Guy Millot

To cite this version:

Charles-Henri Hage, Franck Billard, Bertrand Kibler, Christophe Finot, Guy Millot. Corrélation croisée large bande à partir d'une photodiode à deux photons. 32ièmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2012, Lyon, France. pp.177-179. hal-00703459

HAL Id: hal-00703459

https://hal.science/hal-00703459v1

Submitted on 13 Jul 2012

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.

CORRELATION CROISEE LARGE-BANDE A PARTIR D'UNE PHOTODIODE A DEUX PHOTONS

Charles-Henri Hage, Franck Billard, Bertrand Kibler, Christophe Finot et Guy Millot

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR 6303 CNRS-Université de Bourgogne, 9 avenue Alain Savary, 21078 Dijon Cedex, France

charles-henri.hage@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ

Le phénomène d'absorption à deux photons au sein d'un semi-conducteur est utilisé pour réaliser des mesures de corrélation croisée entre deux impulsions différentes en durée et longueur d'onde. Ces mesures sont appliquées à la reconstruction temporelle directe d'une impulsion picoseconde et à la mesure de retard optique.

MOTS-CLEFS : *absorption à 2 photons; semiconducteur; solitons; corrélation croisée.*

1. INTRODUCTION

Les impulsions optiques ultracourtes sont à la base de nombreuses applications de l'optique moderne [1]. La mesure et le contrôle temporel de ces impulsions étant impossibles à réaliser par des moyens de mesure électroniques conventionnels, différentes méthodes de caractérisation tout-optiques se sont développées. Ces méthodes utilisent généralement un cristal non-linéaire d'ordre 2 qui reste limité en efficacité et en largeur de bande spectrale. Une alternative plus performante est d'exploiter le phénomène d'absorption à 2 photons dans une photodiode. La condition principale à respecter est alors que le double de l'énergie d'un photon laser soit compris dans la bande d'absorption de la photodiode [2].

Ce type de dispositif est régulièrement exploité dans une configuration d'autocorrélateur, où les deux impulsions corrélées sont identiques. Des démonstrations de corrélation croisée ont également été proposées, mais restreintes à des impulsions semblables [3]. Nous présentons ici des mesures de corrélation croisée d'impulsions de caractéristiques entièrement différentes avec une application à la reconstruction directe du profil temporel d'une impulsion picoseconde et à la mesure de délais entre des impulsions spectralement décalées par auto-décalage Raman de solitons (ou effet Raman intrapulse, ERI) [4].

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET VALIDATION DU MONTAGE

Le montage utilisé est décrit figure 1a. Un laser femtoseconde (modèle tPulse d'Amplitude Systèmes) délivrant des impulsions de 180 fs à 49.6 MHz et à la longueur d'onde de 1033 nm est divisé en deux par une lame séparatrice. La première partie du montage produit des impulsions réglables en longueur d'onde par auto-décalage Raman de solitons. Ces impulsions sont en limite de Fourier et ont une largeur temporelle quasi constante de 120 fs [5]. Un filtre passe-haut supprime le résidu de pompe à 1033 nm. La seconde partie du montage produit des impulsions de 2.3 ps fines spectralement (~1 nm) à 1034 nm par recompression spectrale [6]. Ces 2 parties sont recombinées par une autre lame et une ligne à retard placée dans la partie picoseconde assure la synchronisation temporelle des 2 trains d'impulsions. Ces impulsions sont focalisées sur une photodiode commerciale en GaAsP (modèle Hamamatsu G1116) et sont polarisées colinéairement pour s'affranchir de l'anisotropie de l'absorption non-linéaire du semi-conducteur [7]. Le photocourant résultant est visualisé sur un oscilloscope à haute impédance d'entrée (1MΩ).

La validation du montage est d'abord effectuée par des mesures de photocourant pour chaque faisceau [2] puis par des tests de corrélation croisée. La figure 1b montre ainsi les caractéristiques principales d'un processus non-linéaire de génération de courant en termes de dépendance à la

puissance moyenne et à la durée des impulsions incidentes. La figure 1c permet de valider le principe de ce montage par un test de corrélation croisée. L'impulsion femtoseconde est décalée à 1150 nm (réponse spectrale quasi maximale). Les puissances incidentes sont réglées pour générer le même photocourant pour chaque faisceau. On constate que le signal de corrélation peut être décomposé en 3 composantes : 2 composantes impliquant 2 photons de chaque faisceau, et une composante impliquant un photon de chaque faisceau lors de leur recouvrement temporel.

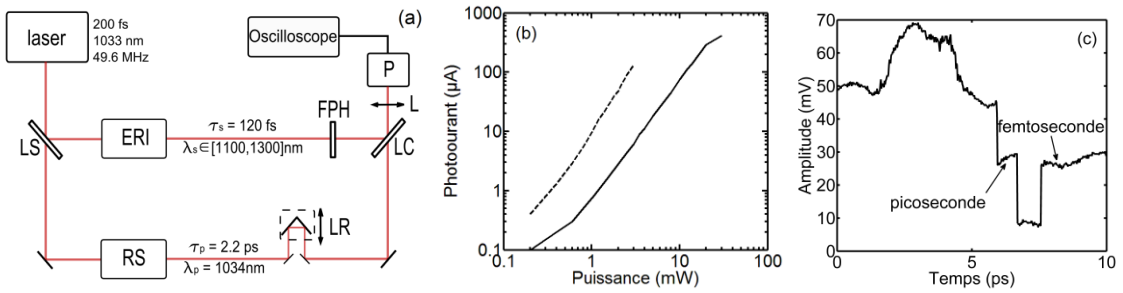

Fig. 1 : Dispositif expérimental et validation du montage. (a) Dispositif expérimental. LS=lame séparatrice, ERI=effet Raman intrapulse, RS=recompression spectrale, FPH=filtre passe-haut, LR=ligne à retard, LC=lame combinatrice, P=photodiode. (b) Mesures de photocourant en fonction de la puissance incidente pour une impulsion picoseconde (trait plein) et femtoseconde (pointillés). (c) Signal de corrélation croisée en fonction du temps

3. MESURE DE PROFIL TEMPOREL D'INTENSITE ET MESURE DE RETARD OPTIQUE

La première application concerne la reconstruction directe du profil temporel de l'impulsion picoseconde. Etant donné que celle-ci est environ 20 fois plus longue que l'impulsion femtoseconde, cette dernière peut être assimilée en première approximation à une fonction de Dirac pour l'opération de corrélation [1]. Le signal de corrélation obtenu doit ainsi permettre de construire directement la forme du profil d'intensité temporel de l'impulsion la plus longue. Cette hypothèse est validée par les mesures expérimentales présentées en figure 2a et b.

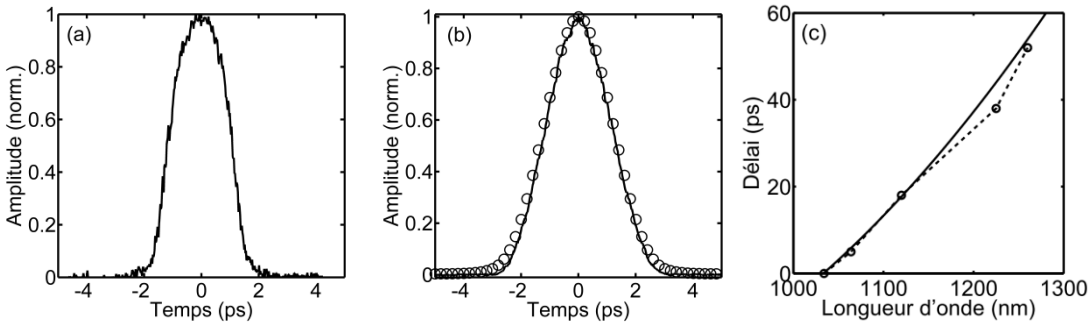

Fig. 2 : Applications de l'absorption à 2 photons. (a) Reconstruction de l'impulsion picoseconde par l'impulsion femtoseconde. (b) Comparaison de l'autocorrélation (trait plein) de l'impulsion picoseconde à l'auto-corrélation du signal reconstruit (cercles). (c) Mesure du délai soliton-résidu de pompe pour différentes longueurs d'onde du soliton décalé (tirets et cercles), comparée à des simulations numériques (trait plein).

La longueur d'onde des impulsions femtoseconde est de 1150 nm. La figure 2a montre moyenne de 10 corrélations. Pour vérifier que cette impulsion correspond bien à l'impulsion picoseconde la figure 2b compare l'auto-corrélation de ce signal reconstruit avec l'autocorrélation du signal picoseconde mesurée de façon indépendante par un dispositif à génération de second harmonique. Un très bon accord est obtenu. Des simulations de corrélation croisée permettent de valider cette application par des calculs de largeur temporelle et d'écart de forme qui montrent

qu'une impulsion de durée inférieure à 230 fs convient. Le système est également validé pour différentes longueurs d'onde du soliton décalé.

Le signal de corrélation croisée peut également être exploité pour synchroniser temporellement deux impulsions en détectant une augmentation du photocourant généré et en se plaçant à son maximum. L'impulsion femtoseconde décalée en longueur d'onde est créée au sein d'une fibre microstructurée à l'aide du processus d'auto-décalage Raman de solitons. Ce type de fibre présente une dispersion anormale aux longueurs d'onde du proche infrarouge avec de fortes variations de vitesse de groupe. Par conséquent les impulsions de type soliton qui se décalent en longueur d'onde [1100-1300 nm] accumulent un retard optique par rapport à la longueur d'onde pompe (1034 nm) qui peut être caractérisé. Il faut ainsi modifier le retard de l'impulsion picoseconde pour retrouver un maximum de photocourant. Cette problématique est d'importance dans les montages similaires au notre qui sont souvent utilisés pour en microscopie non-linéaire [8]. Une mesure de ce décalage temporel est montré figure 2c et est représenté par le décalage entre le soliton décalé et le résidu de pompe. Le retard est tout d'abord estimé par simulations numériques. Les mesures expérimentales sont en très bon accord avec ces simulations, les faibles écarts observés pouvant être attribués à une connaissance imparfaite des paramètres de la fibre microstructurée utilisée.

CONCLUSION

Nous avons démontré expérimentalement la corrélation croisée de deux impulsions différentes en longueur d'onde, durée et puissance crête par absorption à 2 photons dans un semiconducteur. Un point important est le rapport entre les durées des impulsions (20) qui permet la reconstruction directe du profil temporel de l'impulsion longue par l'impulsion courte. Ce phénomène a également été utilisé pour la mesure de délai entre deux impulsions subissant des décalages spectraux différents par auto-décalage Raman d'un soliton. Ce système simple et hautement intégrable présente un intérêt dans le développement de sources lumineuses d'analyse non-linéaires.

RÉFÉRENCES

[1] Wolfgang Kaiser. *Ultrashort Laser Pulses. Generation and Applications*. Springer Verlag, 1993. (1)

[2] J.K. Ranka, A.L. Gaeta, A. Baltuska, M.S. Pshenichnikov, and D.A. Wiersma, "Autocorrelation measurement of 6-fs pulses based on the two-photon-induced photocurrent in a GaAsP photodiode", *Opt. Lett*, vol. 22, no. 17, p. 1344, 1997.

[3] C.N. LaFratta, L. Linjie and J.T. Fourkas, " Rapid, in-line, non-interferometric auto- and cross-correlator for microscopy", *Opt. Expr.*, vol. 14, no. 23, p. 11215, 2006.

[4] F.M. Mitschke and L.F. Mollenauer, "Discovery of the soliton self-frequency shift", *Opt. Lett.*, vol. 11, no. 10, p. 659, 1986.

[5] C. H. Hage, B. Kibler, E. R. Andresen, S. Michel, H. Rigneault, A. Courjaud, E. Mottay, J. M. Dudley, G. Millot, and C. Finot, " Optimization and characterization of a femtosecond tunable light source based on the soliton self-frequency shift in photonic crystal fiber" *Proc. SPIE* 8071, 8071-17 (2011).

[6] S.A. Planas, N.L. Pires Mansur, C.H. Brito Cruz, and H.L. Fragnito, "Spectral narrowing in the propagation of chirped pulses in single-mode fibers", *Opt. Lett.*, vol. 18, no. 9, p. 699, 1993.

[7] S. Santran, M.E. Martínez-Rosas, L. Canioni, and L. Sarger, "Characterization of Optical Nonlinearity in Semiconductor Photodiodes Using Cross-Polarized Autocorrelation", *Jal. of Qtum. Elec.*, vol. 40, no. 12, p. 1687, 2004.

[8] E. R. Andresen, V. Birkedal, J. Thogersen, and S. R. Keiding, " Tunable light source for coherent anti-Stokes Raman scattering microspectroscopy based on the soliton self-frequency shift" *Opt. Lett.*, vol. 31, no. 9, p. 1328, 2006.