

Mikrooptische Realisation eines Pulsformers für Femtosekundenpuls-Anwendungen

H. Knuppertz, M. Bohling, J. Jahns

FernUniversität in Hagen

mailto: hans.knuppertz@fernuni-hagen.de

Optische Femtosekundenpulse bieten eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten in der Materialbearbeitung und in der Informationstechnik. Hier wird ein mikrooptisches planares System zur zeitliche Formung von fs-Pulsen vorgestellt. Das System fächert das Pulsspektrum spatial auf, wobei extrem geringe Eigenverzerrungen erreicht werden.

1 Einführung

Die Anwendung extrem kurzer optischer Pulse im Femtosekundenbereich für nachrichtentechnische Aufgabenstellungen bietet eine Vielzahl von Vorteilen [1]. So kann beispielsweise durch Verwendung von geeigneten Multiplex-Techniken die extrem große Kanalkapazität von optischen Übertragungsstrecken besser genutzt werden.

Eine Möglichkeit ist die Aufteilung des verfügbaren Frequenzbereichs in parallele Übertragungskanäle (Wellenlängenmultiplex). Die Verwendung eines Pulsformers für diese Aufgabe bietet den Vorteil, dass alle Kanäle von einer einzigen Pulsquelle abgeleitet werden und damit eine definierte Phasenbeziehung aufweisen.

Der hier vorgestellte Pulsformer verwendet die erste Beugungsordnung eines Gitters, um das Wellenlängenspektrum einer Pulsfolge räumlich verfügbar zu machen. Durch einen statischen oder dynamischen Modulator können dann bestimmte Wellenlängen dieses Spektrums in der Amplitude oder Phase verändert werden (Abb. 1).

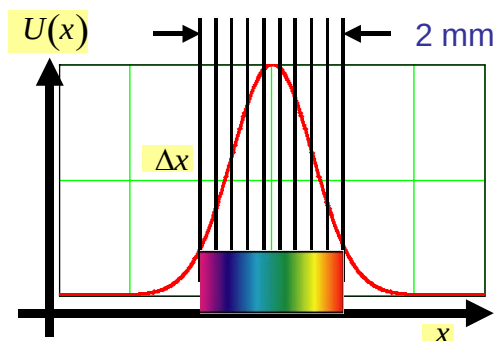


Abb. 1 Spektral aufgefächertes Pulsspektrum.

2 Spektrale Analyse eines ultrakurzen Pulses

Für die spatiale Modulation des Spektrums sind nur relativ niedrige Beugungsordnungen nutzbar.

Abb. 2 zeigt ein Beugungsbild einer Pulsfolge. Deutlich ist die zunehmende Verbreiterung der Beugungsordnungen zu erkennen. Höhere Beugungsordnung überlappen zunehmend und bilden schließlich ein quasikontinuierliches Leuchtband.



Abb. 2 Beugungsbild eines ultrakurzen Pulses hinter einem Phasengitter

(Puls: $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta t = 27 \text{ fs}$, Gitter: $p = 6,3 \text{ }\mu\text{m}$) .

Wie eine detailliertere Analyse ergibt [2], sollte bei der spektralen Zerlegung des Pulses die benutzte Beugungsordnung n deutlich kleiner als das Produkt aus Trägerfrequenz f_0 und Pulsdauer Δt sein (Gl. 1). So kann eine Überschneidung mit der Nachbarordnung vermieden werden.

$$n \ll f_0 \Delta t \quad (1)$$

3 Realisierung als PIFSO-System

Die Realisation als PIFSO-System (planar integrated free space optics) ermöglicht einen kompakten Aufbau des Pulsformers. Alle optischen Komponenten befinden sich auf zwei parallelen Flächen, die Lichtausbreitung erfolgt zick-zack-förmig zwischen den beiden Flächen [3]. Um Materialdispersion zu vermeiden, erfolgt die Propagation durch ein Luftvolumen.

Eine Fläche besteht aus lithografisch strukturiertem Glas. Die andere Oberfläche enthält reflektive Linsen, die hocheffizient und dispersionsarm sein müssen. Diese Linsen wurden deshalb mit Ultrapräzisions-Fertigungsverfahren auf einem Kupfersubstrat hergestellt.

4 Dispersionsmanagement

Durch die Gitterbeugung und die Realisation als PIFSO ergibt sich eine gekippte Strahlführung, wie sie als entfaltetes System in Abb. 3 dargestellt ist.

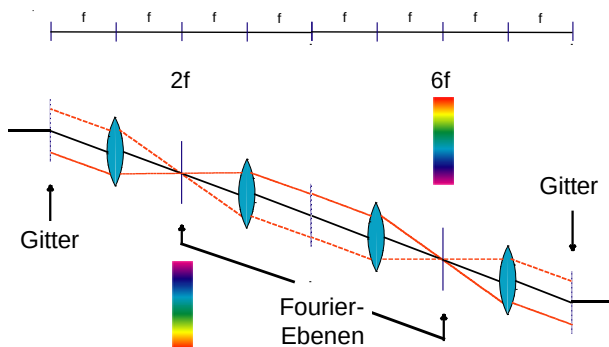


Abb. 3 Zwei kaskadierte 4f-Systeme zur Kompensation von Laufzeitunterschieden

In der Ebene $2f$ liegt das Spektrum des Pulses vor und kann hier moduliert werden. Nach $4f$ ist das Signal jedoch auch ohne Modulation stark verzerrt, da es im Gegensatz zu einem gerade geführten $4f$ System zu unterschiedlichen optischen Pfadlängen kommt. Durch Kaskadierung eines zweiten $4f$ -Systems kann diese Verzerrung jedoch kompensiert werden. In Abb. 3 laufen die beiden eingezeichneten Pfade jeweils einmal mit flachem Anstieg und mit steilem Abfall durch die Fourier-Ebenen des Gesamtsystems.

5 Systemkonzept

Die Faltung der beiden kaskadierten $4f$ -Systeme ergibt ein symmetrisches System wie es in Abb. 4 gezeigt ist. Die eingezeichneten Pulsfronten verdeutlichen, dass das System Pulse, wenn sie unmoduliert sind, unverzerrt passieren lässt.

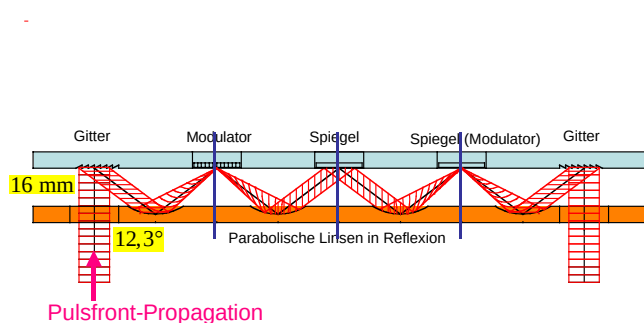


Abb. 4 Systemkonzept

Die Systemsimulation mit ZEMAX® zeigt extrem geringe Verzerrungen der ausgangsseitigen Wellenfront, die unter $\lambda/100$ liegen.

6 Implementierung

Das Glassubstrat mit dem ein- und ausgangsseitigen 4-stufigen Phasengitter wurde mit der vorhandenen Reinraumtechnologie lithographisch gefertigt. Beim realisierten System konnten die nötigen Strukturgrößen von $1\ \mu\text{m}$ noch sehr genau gefertigt werden.

Eine besondere Herausforderung war die präzise Fertigung der vier Hohlkugellinsen auf dem Kupfersubstrat. Das Profil dieser Linsen entspricht einem elliptischen Paraboloid und erfordert daher komplizierte Werkzeugbewegungen.

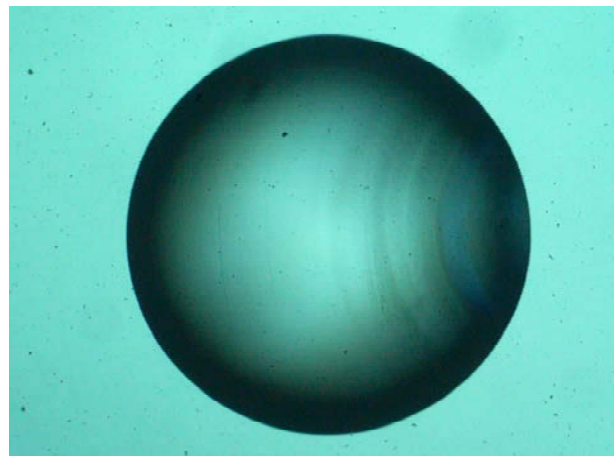


Abb. 5 Hohllinse (elliptisches Paraboloid, $3,0/2,9\ \text{mm}$ Durchmesser, Tiefe $30\ \mu\text{m}$) in Kupfersubstrat, gefertigt durch Ultrapräzisionsdrehen.

Die erreichten Rauigkeitswerte liegen bei ca. $50\ \text{nm}$, die Formabweichung für das parabelförmige Profil ist noch zu bestimmen.

7 Ausblick

Für das System sind umfangreiche Experimente mit ultrakurzen Pulsen vorgesehen, um die chromatische Verzerrungsfreiheit zu bestätigen. Zur Vereinheitlichung der Fertigungstechnologie können die reflektiven Gitter ebenfalls auf einem Kupfersubstrat gefertigt werden.

Literatur

- [1] G. A. Keeler et al., The Benefits of Ultrashort Optical Pulses in Optically-Interconnected Systems, *IEEE J. Sel. Top. Quant. El.* **9** (2003) 477-485
- [2] H. Knuppertz, J. Jahns, R. Grunwald, Temporal impulse response of the Talbot interferometer, *Opt. Comm.* (2007) zur Veröffentlichung angenommen.
- [3] J. Jahns, A. Huang, Planar integration of free space optical components, *Appl. Opt.* **28** (1989) 1602-1605