



Martin Bischoff



Olaf Stenzel



Dieter Gäbler



Norbert Kaiser

In einem Laserresonator ist der Einsatz dispersiver, also pulsverbreiternder Komponenten (z. B. Laserkristall) nicht zu vermeiden, sodass sich der Bedarf an zusätzlichen, dispersionskompensierenden Elementen ergibt. Neben den üblichen Verfahren, basierend auf Prismen- oder Gitterpaaren, haben sich vor allem dielektrische Vielschichtsysteme mit dispersiven Eigenschaften, die sogenannten gechirpten Spiegel /1/, durchgesetzt. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie in einem breiten spektralen Bereich hochreflektierend sind und – je nach Design – unterschiedliche Materialdispersionen kompensieren können.

Die mit gechirpten Spiegeln kompensierbaren Dispersionen sind zwar im Vergleich zu Gitter- oder Prismenkompressoren gering, jedoch sind die Spiegel aufgrund ihrer Schichtstruktur nahezu verlustfrei und die Dispersionswerte lassen sich prinzipiell beliebig einstellen. Daher sind gechirpte Spiegel für die Erzeugung von ultrakurzen Pulsen im Bereich unter 10 fs als Dispersionskompensationselemente nicht mehr wegzudenken. Auch in Lasersystemen mit längerer Pulsdauer werden diese Spiegel eingesetzt, sodass in Kombination mit Prismenpaaren die Dispersionswerte zweiter, dritter und auch höherer Ordnung kompensiert werden können.

Analog zu konventionellen Bragg-Spiegeln bestehen gechirpte Spiegel aus alternierenden Paaren hoch- und niedrigbrechender dielektrischer Schichtmaterialien, jedoch liegt die Besonderheit dieser Systeme darin, dass langwellige Lichtanteile tiefer in den Schichtstapel eindringen können als kurzwellige /2/. Ein Spiegel mit dieser wellenlängenabhängigen Eindringtiefe (Abb. 1) erzeugt somit negative Dispersion.

Die Herstellung der Spiegel erfolgte mittels plasma-ionengestützter Elektronenstrahlverdampfung. Im Vergleich zur Sputter-Technik kann die dort typische hohe Präzision der Schichtdicken nicht erreicht werden und somit scheint es kaum möglich zu sein, extrem breitbandige Spiegel-designs zu realisieren. Jedoch können die hergestellten Spiegel bei der Erzeugung von Laserpulsen mit einer Dauer von 20 fs bis 30 fs eingesetzt werden. Ein wesentlicher Vorteil der gedampften Schichtsysteme ist die mechanische Stabilität der Schichten aufgrund ihrer geringen Schichtspannung, die wiederum bei gesputterten Schichtsystemen sehr hoch ist.

#### Literatur:

- /1/ Szipöcs, R.; Ferencz, K.; Spielmann, C.; Krausz, F.: "Chirped multilayer coatings for broadband dispersion control in femtosecond lasers", *Opt. Lett.* 19, (1994) 201–203.
- /2/ Bischoff, M.; Stenzel, O.; Gäbler, D.; Kaiser, N.: "Properties of chirped mirrors manufactured by plasma ion assisted electron beam evaporation", *SPIE* 5963 (in print).

The use of dispersive, that is pulse broadening, elements in a laser cavity is usually unavoidable (e.g. laser crystal) and consequently additional components for dispersion compensation are required. Besides the common methods based on prism or grating pairs, multilayer coatings with special dispersive characteristics, the so called chirped mirrors /1/ are widely used. They are distinguished by their broad, high reflectivity range and can be designed to compensate any material dispersion.

Indeed, the dispersion values realized by chirped mirrors are less than those from prism- or grating-pairs, moreover, because of their dielectric layer structure, chirped mirrors are almost loss-free. Therefore, the main application for chirped mirrors is the generation of sub-10-fs pulses.

Furthermore, laser systems with longer pulse duration use this mirror technique so that when combined with prism pairs, dispersion can be compensated at the second, third, and higher orders.

Analogous to dielectric Bragg mirrors, chirped mirrors consist of alternating pairs of low-index and high-index layer materials. The layer structure for chirped mirrors is chosen in such a way that the penetration depth of the light becomes wavelength dependent (Fig. 1). Negative dispersion is generated because of the deeper penetration depth for red than for blue components /2/.

The fabrication of the mirrors was done by the Advanced Plasma Source (APS) evaporation technique. There, an electron beam evaporates the material, which is deposited on the substrates with instantaneous plasma assistance.

The high precision of the layer thickness as achieved by sputter techniques is not achievable by means of e-beam evaporation and consequently it seems impractical to fabricate broadband layer designs. However, the fabricated chirped mirrors could be used for the generation of laser pulses of 20 fs to 30 fs duration. An essential advantage of the evaporated layer designs is their mechanical stability due to the low stress of the coating, which is much higher for sputtered designs.

#### References:

- /1/ Szipöcs, R.; Ferencz, K.; Spielmann, C.; Krausz, F.: "Chirped multilayer coatings for broadband dispersion control in femtosecond lasers", *Opt. Lett.* 19, (1994) 201–203.
- /2/ Bischoff, M.; Stenzel, O.; Gäbler, D.; Kaiser, N.: "Properties of chirped mirrors manufactured by plasma ion assisted electron beam evaporation", *SPIE 5963* (in print).

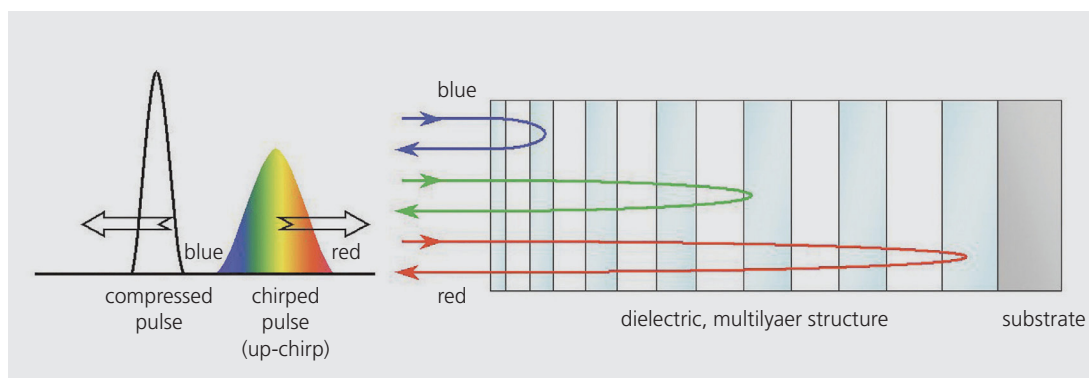


Abb. 1:  
Schematischer Aufbau eines gechirpten Spiegels:  
Ein spezielles Schichtsystem aus abwechselnd hoch- und niedrigbrechenden Materialien sorgt für unterschiedlich tiefes Eindringen der Spektralanteile eines Laserpulses, sodass ein einlaufender, positiv gechirpter Puls dadurch dispersionskompensiert wird und komprimiert wieder austritt.

Fig. 1:  
Pattern of a chirped mirror.  
A layer design with alternating high-index and low-index materials exhibits a wavelength dependent penetration depth of the particular spectral components of the laser pulse. An up-chirped pulse will be compressed after reflection on the chirped mirror.