

Parametrische Untersuchungen an gepoltem Quarzglas

Alexander Strauß, Ulrich Röpke, Volker Reichel, Hartmut Bartelt

Institut für Photonische Technologien e.V.
Albert-Einstein-Strasse 9, 07745 Jena

mailto: alexander.strauss@ipht-jena.de

Durch thermisches Polen wird im Quarzglas eine effektive Suszeptibilität zweiter Ordnung ($\chi^{(2)}_{\text{eff}}$) dauerhaft erzeugt. Wir untersuchen die Polbarkeit verschiedener Quarzglasarten, den Einfluss unterschiedlicher Polungsparameter und die Tiefenausdehnung der gepolten Schicht. Durch Quasiphasenanpassung wird das generierte Signal der zweiten Harmonischen deutlich gesteigert.

1 Einführung

Viele künftige photonische Anwendungen erfordern eine aktive Beeinflussung der optischen Strahlung. Beispielsweise sind in aktiven Materialien mit einer Suszeptibilität zweiter Ordnung ($\chi^{(2)}$) Frequenzkonversion oder optische Schaltvorgänge möglich.

Durch thermisches Polen ist es möglich, auch in amorphes Quarzglas eine effektive Suszeptibilität zweiter Ordnung ($\chi^{(2)}_{\text{eff}}$) dauerhaft einzubringen [1]. Dadurch werden die bisher vorwiegend passiven Anwendungsbereiche von Quarzglas deutlich ausgedehnt. Nachdem sowohl die Tiefenausdehnung der entstehenden depletion layer, als auch der Einfluss verschiedener Polungsparameter auf das Signal der zweiten Harmonischen (SHG) bereits in [2] vorgestellt wurden, soll hier auf die Polbarkeit unterschiedlicher Quarzgläser und die Steigerung des SHG-Signals durch Quasiphasenanpassung (QPM) eingegangen werden.

2 Prinzip

Beim thermischen Polen wird an eine Quarzglasprobe eine Hochspannung angelegt, und gleichzeitig wird diese Probe auf Temperaturen um 300°C erhitzt. Aufgrund beweglicher Ladungsträger im Quarzglas kommt es zu einer Ladungsträgerverschiebung und damit zur Ausbildung einer Verarmungsschicht (depletion layer). Nach dem Abkühlen und nachfolgendem Abschalten der Hochspannung, verbleibt diese entstandene Schicht dauerhaft in der Probe. Das damit einhergehende ebenfalls in der Probe existierende Raumladungsfeld E_0 wirkt zusammen mit dem im Quarzglas vorhandenen $\chi^{(3)}$ als effektive Nichtlinearität zweiter Ordnung:

$$\chi^{(3)} \cdot \vec{E}\vec{E}\vec{E} \rightarrow \chi^{(3)} \cdot \vec{E}_0 \vec{E}\vec{E} \rightarrow (\chi^{(3)} \vec{E}_0) \cdot \vec{E}\vec{E} \rightarrow \chi^{(2)}_{\text{eff}} \cdot \vec{E}\vec{E} \quad (1)$$

3 Tiefenausdehnung der depletion layer

Die Tiefenausdehnung der depletion layer beträgt typischerweise 6 µm, und wurde bereits in [2] durch Berechnungen und durch ein modifiziertes Maker-fringe Experiment [3] ermittelt. Dieser Wert konnte durch ein weiteres Experiment, bei dem die gepolte Quarzprobe schrittweise in Flusssäure abgeätzt und auf ein SHG-Signal hin getestet wurde, bestätigt werden.

4 Polung verschiedener Quarzmaterialien

Für die in [2] erzielten Ergebnisse wurde der Quarzglasartyp Herasil1 (Heraeus) verwendet. Wie in Tabelle 1 dargestellt ist, sind nun auch andere Quarzgläser auf ihre Polbarkeit untersucht worden. Ein SHG-Signal tritt dabei in allen *fused silica* Gläsern auf, welche eine sehr geringe Kationenanzahl von wenigen ppm aufweisen [4].

SH-Signal	NEIN	JA	NEIN
Kationen-dotierung [ppm]	$\leq 0,02$	1-10	≥ 1000
Quarz-gläser	Suprasil (Heraeus) Lithosil Q1 (Schott)	Herasil (Heraeus) Infrasil (Heraeus) HSQ100 (Heraeus) PN235 (Qsil) PF1 (IPT/ Heraeus)	Vycor (Corning) Coverslips (Qsil)

Tab.1 SHG-Signal unterschiedlicher Quarzglasmaterialien in Abhängigkeit ihres Kationengehaltes

Die Anzahl der Kationen wirkt sich entscheidend auf die Ausbildung der depletion layer aus. Ist sie zu niedrig, wie in synthetisch hergestellten Gläsern, in denen praktisch keine Kationen vorhanden sind (Tab.1, zweite Spalte), so bildet sich keine depletion layer aus. Ist die Anzahl der Kationen zu hoch (Tab.1, vierte Spalte), so wird eine ausreichende Tiefenausdehnung der depletion layer, und damit des Raumladungsfeldes, verhindert. Für Polungsexperimente geeignete Quarzgläser sollten einen Kationengehalt von wenigen ppm besitzen.

5 Steigerung der Konversionseffizienz durch Quasiphasenanpassung

Die bisher erhaltenen SHG-Leistungen sind sehr gering und liegen im μW -Bereich bei zugehörigen Fundamentalleistungen im kW-Bereich. Um die Konversionseffizienz zu steigern, ist eine Phasenanpassung – in unserem Falle eine QPM – erforderlich. Für eine QPM werden periodische, kammförmige Elektroden benötigt, welche hohe Anforderungen bezüglich Oberflächenreinheit, Temperatur- und Hochspannungsbeständigkeit und guter Oberflächenhaftung erfüllen müssen. Die halbe Periodenlänge solch einer Elektrodenstruktur entspricht der Kohärenzlänge l_c , also dem Längenabschnitt in dem die SHG konstruktiv generiert wird, und berechnet sich nach:

$$l_c = \frac{\lambda_{\omega}}{4 \cdot |n_{2\omega} - n_{\omega}|} \quad (2)$$

Die Brechungsindizes bei den jeweiligen Wellenlängen berechnen sich aus der Sellmeier-Reihe für den verwendeten Quarztyp und λ_{ω} ist die Fundamentallwellenlänge (hier 1064nm). Für den hier verwendeten Quarztyp Herasil1 beträgt die berechnete Kohärenzlänge 24 μm . Wir haben drei verschiedene Strukturierungsverfahren, mit denen sowohl planare Quarzgläser als auch Quarzglasfasern mit kammförmigen Elektroden versehen werden können, auf ihre Eignung hin getestet [5]. Eines dieser Strukturierungsverfahren, die photolithographische Strukturierung, ist besonders oberflächenschonend und liefert sehr saubere, reproduzierbare und exakt bemessene Elektroden. Dieses Verfahren wird nun zur Elektrodenherstellung angewendet.

Mit der oben berechneten Kohärenzlänge von $l_c = 24 \mu\text{m}$ ergibt sich für die benötigte Periodenlänge ein Wert von 48 μm . Die von uns hergestellten kammförmigen Elektroden wurden mit einer kürzeren Periodenlänge 44 μm versehen. Durch Drehung der Probe relativ zum Laserstrahl um den Winkel α (Abb.1), lässt sich die Periodenlänge durchstimmen,

wodurch vom jeweiligen Einfallswinkel α leicht auf die zugehörige Periodenlänge geschlossen werden kann.

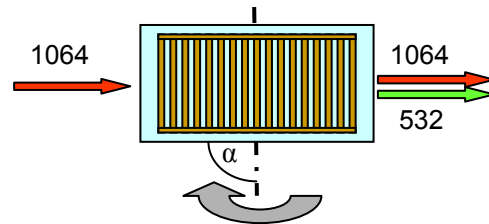


Abb.1 SHG-Erzeugung in einer periodisch gepolten Quarzglasprobe, durchstimmbare Gitterperiode durch Drehung der Probe um den Winkel α

Bei einem Einfallswinkel von $\alpha = 30^\circ$ wird eine maximale SHG-Leistung von 2 mW erreicht (Abb.2). Die zu diesem Winkel zugehörige Periodenlänge beträgt 47,8 μm und stimmt gut mit dem berechneten Wert von 48 μm überein.

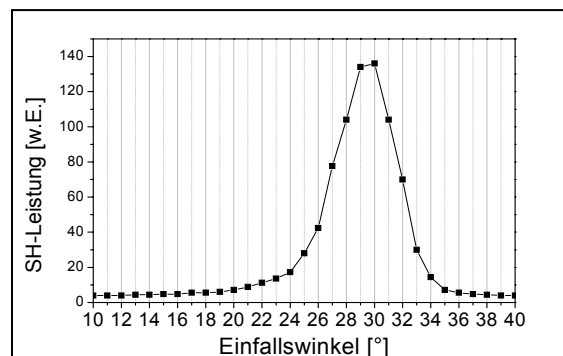


Abb.2 SHG-Leistung in einer periodisch gepolten Herasil-Probe in Abhängigkeit des Einfallswinkels der Fundamentalwelle

Durch QPM konnte die erreichte SHG-Leistung und die Konversionseffizienz gegenüber dem nichtphasenangepassten Fall um 2 Größenordnungen gesteigert werden.

6 Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) (BA 1724/7-1) unterstützt.

7 Literatur

- [1] R.A.Myers et al., Opt.Lett.16, 1731-1734 (1991)
- [2] A. Strauß, S. Brückner, U. Röpke, H. Bartelt, DGaO Proceedings 2005, P53 (2005)
- [3] C. Corbari et al., Electronics Letters, Vol.39, No.2, pp.197-198 (2003)
- [4] A. Strauß, U. Röpke, V. Reichel, H. Bartelt, ORT2006, Siegen, ISSN 1437-8507, pp.98-105 (2006)
- [5] A. Strauß, S. Brückner, R. Pöhlmann, V. Reichel, H. Bartelt: „Structured electrodes on optical fibers“, Optik - International Journal for Light and Electron Optics (2007), doi:10.1016/j.ijleo.2007.02.007