

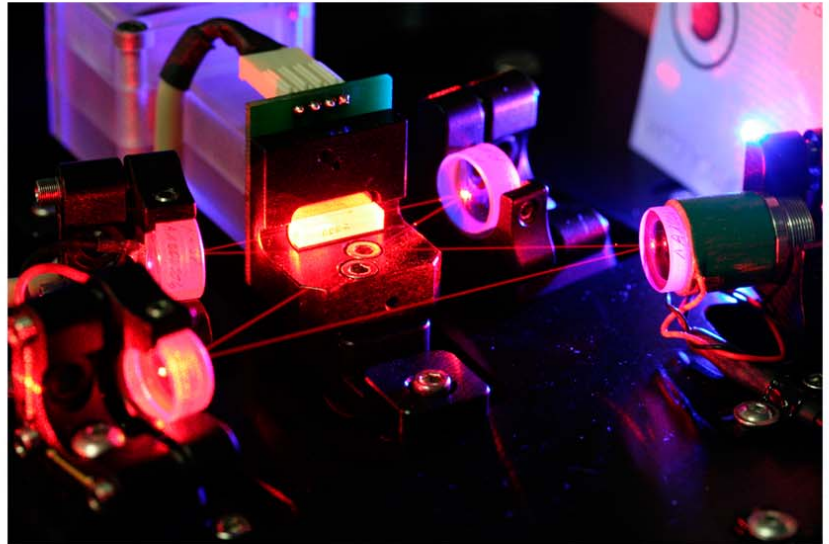
Frequenzkonvertierte cw-Lasersysteme für Forschung und Industrie

Jürgen Stuhler, Thorsten Schmitt, Rudolf Neuhaus und Frank Lison

Dr. Jürgen Stuhler,
Dipl.-Phys. Thorsten
Schmitt, Dr. Rudolf
Neuhaus und
Dr. Frank Lison,
TOPTICA Photonics
AG, Lochhamer
Schlag 19, 82166
Gräfelfing

Die Anforderungen an moderne Lasersysteme für wissenschaftliche Anwendungen oder den industriellen Einsatz sind in den letzten Jahren enorm gestiegen. Besonders die Forschungsrichtungen Atom- und Molekülphysik, Optik und Quantenoptik (AMOP) – mit typischen Teilbereichen Spektroskopie, Präzisionsmessungen sowie Laserkühlung und Speicherung von Atomen und Molekülen – haben die Entwicklung neuartiger Lasersysteme vorangetrieben. Aber auch der Drang interferometrischer und mikroskopischer Methoden zu immer kleineren Wellenlängen im blauen und ultravioletten Spektralbereich hat maßgeblich zur Laserentwicklung beigetragen. Je nach Anwendung sind die Anforderungen an die Lasersysteme unterschiedlich. Immer aber sollen die Laser möglichst zuverlässig, einfach zu bedienen, kostengünstig in der Anschaffung und preiswert im Unterhalt sein.

Interferometrische Messtechnik und holographische Datenspeicherung erfordern z. B. festfrequente bzw. nur leicht in der Emissionsfrequenz variierbare cw-Laser im UV und tiefen UV mit Leistungen möglichst um 100 mW und hoher Kohärenzlänge im Meterbereich. Solche Laser lassen sich aus wis-



Der SHG-Überhöhungsresonator zur Erzeugung frequenzverdoppelten Lichtes um 335 nm im Betrieb.

senschaftlichen Lasern heraus entwickeln, die in der AMOP eingesetzt und gefordert werden. Dort, aber auch in der Festkörperphysik und der physikalischen Chemie, sind die Anforderungen – was die weitere Durchstimbarkeit der Wellenlänge und die spektralen Eigenschaften (geringe Linienbreite) angeht – stringenter. Hierfür genügen meist 1 bis 100 mW Leistung.

Zur Zeit am anspruchsvollsten zeigt sich die zuletzt mit drei Physik-Nobelpreisen (1997, 2001, 2005) ausgezeichnete Quantenoptik, besonders in ihrem Schwerpunkt Laserkühlung und Speicherung von Atomen und Ionen. Ultrakalte, gefangene Teilchen kommen in der Grundlagenforschung, in Präzisionsmessungen (z. B. Zeit, Beschleunigungen, Rotationen, Naturkonstanten, ...) sowie in der Quanteninformationstechnologie zum Einsatz. Die Lasersysteme dienen dabei nicht nur der Kühlung und der Speicherung, sondern werden auch zur Spektroskopie oder zur (kohärenten) Zustandsmanipulation eingesetzt. Die hierzu

ausgenutzte Atom-Licht-Wechselwirkung hängt sehr empfindlich von der Laserfrequenz relativ zur Resonanzfrequenz eines atomaren Übergangs ab. Dies ist auch der Grund dafür, dass oftmals eine sehr geringe Laserlinienbreite von typischerweise wenigen MHz (in Sonderfällen auch Größenordnungen darunter) erforderlich ist. Zudem muss die Emissionsfrequenz genau eingestellt, oft noch variiert und stabilisiert werden können. Im Besonderen erfordern neue Elemente oder neue Übergänge automatisch immer neue Laserfrequenzen, zunehmend im blauen und ultravioletten Spektralbereich.

Da Laserdioden dort leistungslimitiert, spärlich gesät und oft seltene Perlen sind [1], ist die Methode der Wahl zur Erzeugung durchstimmbarer, schmalbandiger cw-Laser im UV die Frequenzkonversion (z. B. Frequenzverdopplung, „SHG“) eines im nahen Infrarot oder im Roten emittierenden Lasers. Als Fundamentallaser kann im Prinzip jeder schmalbandige und frequenzstabile Hochleistungslaser

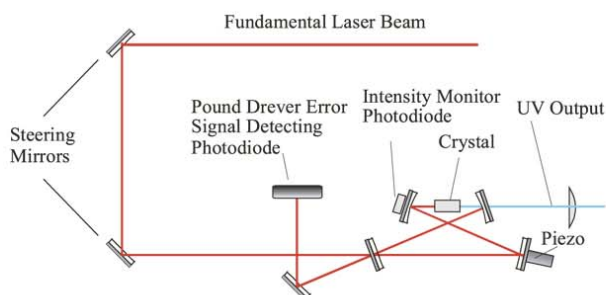


Abb. 1 Prinzipieller Aufbau des SHG-Überhöhungsresonators zur Erzeugung frequenzverdoppelten Lichtes um 335 nm (vgl. Foto oben).



Abb. 2 Das TA-SHG 110 System

dienen. In modernen Realisierungen kommen jedoch Diodenlaser [2] oder – bei einigen wenigen Wellenlängen und mit deutlich eingeschränkter Durchstimmbarkeit – auch Faserlaser zum Einsatz. Gegenüber früheren Fundamental-laseransätzen verfügen beide über deutliche Vorteile in der Handhabbarkeit, der Stabilität, der Handlichkeit (Größe) und vor allem im Preis und in den laufenden Kosten. Für die Diodenlaser-basierte Frequenzkonversion sind vier Schlüsseltechnologien erforderlich:

- Der rot bzw. infrarot emittierende Master-Diodenlaser kann entweder ein gitterstabilisierter („extended cavity diode laser“ ECDL) Diodenlaser (DL 100) oder aber ein DFB/DBR Diodenlaser (DL-DFB 100) sein. Solche Laser bilden bereits seit über zehn Jahren die Grundlage für hochwertige kommerzielle wissenschaftliche Lasersysteme und haben mittlerweile auch zahlreiche Einsatzgebiete in der Industrie gefunden.
- Die Verstärkung des Masterlaser in einem auf Halbleitertechnik basierenden „tapered amplifier“ (TA-100) auf bis zu 1,5 W. Da die Wellenlängen des TA-100 die mit hoher Leistung erzeugbaren UV-Wellenlängen bestimmen, ist die verfügbare Farbvielfalt solcher

Verstärkerdioden besonders wichtig. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang das seit kurzem und exklusiv bei der Firma TOPTICA Photonics AG erhältliche Verstärkersystem um 670 nm mit 500 mW Ausgangsleistung.

- Die eigentliche Frequenzkonversion, wie z. B. die Frequenzverdopplung eines schmalbandigen Lasers, lässt sich effizient in einem SHG 110-Modul erzielen. Dazu gehören ein externer Ringresonator zur Überhöhung der Fundamentalleistung und ein entsprechend sorgfältig ausgewählter nicht-linearer optischer Kristall (Abb. 1). Gerade bei der Frequenzkonversionsstufe zeigt sich, dass jedes neue System – insbesondere bei Änderung der Wellenlänge – neu zugeschnitten und optimiert werden muss. Hierfür ist besondere Erfahrung in Design, Komponentenauswahl und Aufbau für ein leistungsfähiges und zuverlässiges System unerlässlich.
- Um alles erfolgreich zu vereinen, ist neben entsprechendem Design vor allem noch eine hochwertige Regelelektronik notwendig. So müssen z. B. Strom- und Temperatur der Diodenlaser sehr genau regelbar sein. Gleiches gilt für die Temperatur der meisten Verdopplungskristalle und für die optische Weglänge im Überhöhungsresonator. Für den täglichen Betrieb sind dann automatische „Relock“-features wichtig. Qualitativ hochwertige Systeme zeichnen sich durch geringes Intensitätsrauschen aus und verfügen gegebenenfalls optional über sog. „Noise-Eater“-Module zur Unterdrückung des Intensitätsrauschens sowie der langsamen Veränderung der Ausgangsleistung.

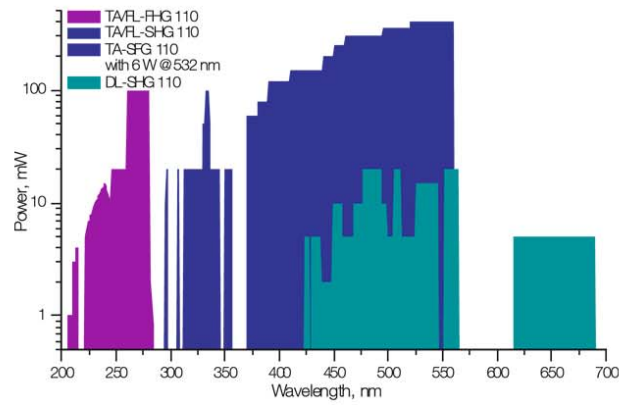


Abb. 4 Die Wellenlängen, die sich mit verschiedenen bei TOPTICA erhältlichen Frequenzkonversionssystemen erzeugen lassen.

In einem Gesamtsystem zur Produktreife gebracht sind solche Laser von der Firma TOPTICA Photonics AG unter den Produktbezeichnungen TA-SHG 110 (Abb. 2) erhältlich. Der neueste Zuwachs in dieser Familie basiert auf dem exklusiven TA-100 um 670 nm (500 mW). Im Labor wurden damit im UV über 170 mW bei Konversionseffizienzen über 40 % zwischen 329 nm und 336 nm erzielt (Abb. 3). Kommerziell sind bis zu 100 mW in diesem Wellenlängenbereich erhältlich.

Andere Frequenzkonversionssysteme sind die frequenzvervierfachenden Lasersysteme TA-FHG (vollständig auf Diodenlasertechnik) und die FL-FHG (auf Faserlasertechnik basierend), die aus zwei kaskadierten Frequenzverdopplungsstufen bestehen, sowie die Summenfrequenz-erzeugende TA-SFG (Abb. 4). Mit nur wenigen kleinen Lücken überspannen sie gemeinsam den Wellenlängenbereich zwischen 205 nm und 560 nm und sind allesamt schmalbandig, kohärent und spektral um einige Nanometer durchstimmbar. Insgesamt bietet TOPTICA Dioden- und Frequenzkonversionslasersysteme für Wissenschaft und Industrie von 205 nm bis 2800 nm an.

[1] www.laser-diodes.com

[2] Th. Schmitt, A. Deninger, F. Lison, Physik Journal, März 2006, S. 78

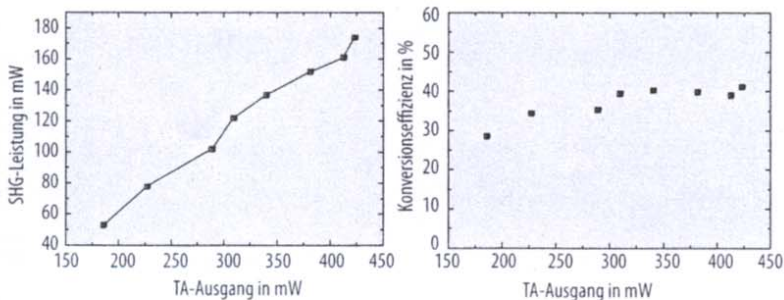


Abb. 3 Im Labor erzielte Leistung (links) und Konversionseffizienz (rechts) bei 335 nm als Funktion der Fundamentalleis-

tung der auf den exklusiv bei TOPTICA erhältlichen 670 nm tapered amplifiers basierenden TA-SHG 110.