

Diffraktive optische Elemente bei dermatologischen Anwendungen

Lasertherapie flexibel und kostengünstig mit innovativen optischen Elementen

Die Lasertherapie revolutioniert die Medizintechnik in vielen Bereichen. Im Zusammenspiel mit speziellen optischen Komponenten sind weitere Vorstöße durch innovative Anwendungen zu erwarten.

Moshe Bril / Barbara Herdt

In der konventionellen dermatologischen Laserbehandlung wird die Haut über die gesamte Fläche bestrahlt. Bei den neueren Verfahren wird die Oberfläche vielmehr in einem gezielten Raster mit starkem Laserlicht bestrahlt, wodurch eine deutlich schnellere Genesung der Haut erlangt wird. Ein gewünschtes Muster für solche Hautbestrahlungen können durch optische Scanner, Mikrolinsenarrays, Mikrolinsenarrays mit Homogenisierern und diffraktive Strahlteiler erreicht werden.

Laserscanner

Die vermutlich längste am Markt verfügbare Methode ein Raster zu generieren ist es, mithilfe eines optischen Scankopfs, das gewünschte Muster zu übertragen. Optische Laserscanner bestehen aus einem schnell beweglichen Spiegel, der auf einem Galvanometer angebracht ist. Durch variable Programmierung können vielfältige Muster auf die zu behandelnde Oberfläche projiziert werden. So ist ein zweidimensionales äquidistantes Spotarray ebenso hinterlegbar wie ein stochastisches Muster.

Ärzte nutzen für dermatologische Behandlungen häufig lediglich eine Basismatrix mit einem Spotarray, sodass die beschriebene vorteilhafte Flexibilität selten benötigt wird. Obgleich einfach und flexibel, sind zweidimensionale Scanköpfe kostspielig, zudem noch voluminös und relativ schwer.

Mikrolinsenarrays

Das Belichtungs raster kann ebenfalls mithilfe eines Mikrolinsenarrays erzeugt werden, das aus einer Reihe von einzelnen Mikrolinsen besteht, welches in einer Ebene angeordnet ist (Bild 1).

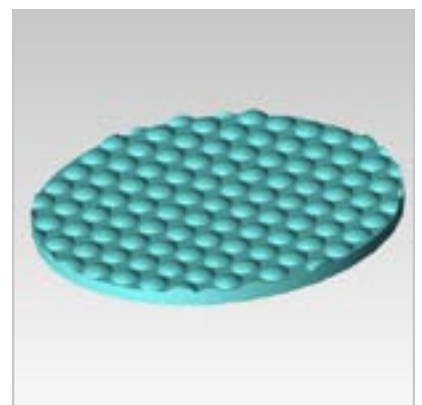


Bild 1: Schematische Darstellung eines Mikrolinsenarrays

In der Anwendung wird der Eingangsstrahl annähernd auf einen Punkt in einem feststehenden $m \times n$ Array fokussiert. Durch die abbildende Funktion des Arrays ist die Uniformität der Bestrahlung (je nach eintreffendem Laserstrahlprofil) nicht unbedingt ideal (Bild 2a), dazu verhindert die feste Brennweite der Mikrolinsen eine flexible Anwendung. Für den Einsatz in dermatologischen Anwendungen ist es zudem schwierig, die Arrays in dem entsprechenden Material, Saphir oder ZnSe zu fertigen. Ein Vorteil von Systemen mit Mikrolinsenarrays ist die geringe Störanfälligkeit.

Arrays mit Homogenisierern

In medizinischen Anwendungen stellt die nicht vorhandene Uniformität des mit Mikrolinsenarrays erzielten Strahlprofils ein ernsthaftes Problem dar. Ein verbessertes Ergebnis wird erreicht wenn das Array mit einem Homogenisierer kombiniert wird (Bild 2b und 2c).

Durch das Hinzufügen eines diffraktiven Homogenisierers kann die Problematik der Ungleichheit zwischen den einzelnen Spots überwunden werden. Das Bauteil transformiert das Gauss'sche Strahlprofil in einen homogenen Strahl mit dem Durchmesser des Mikrolinsenarrays. Durch diesen Vorteil wird das System jedoch etwas größer und natürlich kostspieliger als das einfache Mikrolinsenarray. Durch die Divergenz des homogenisierten Strahls können die Spots jedoch nicht mehr mit dem gleichen Durchmesser abgebildet werden.

Die diffraktiven Diffusoren projizieren die gesamte Energie in eine genau definierte Fläche. Hierdurch bleibt die gesamte Systemeffizienz zufriedenstellend. Beim diffraktiven Homogenisierer handelt es sich um das gleiche Bauteil, welches mit großem Erfolg bei der Reduzierung von 'hot spots' bei anderen dermatologischen Behandlungen eingesetzt wird. Der Ausgangsstrahl hinter dem Homogenisierer kann verschiedene Formen haben. Quadratische, runde, elliptische Formen sind gängig und auch jede beliebige andere Form kann realisiert werden. Hierdurch erhält man eine große Flexibilität.

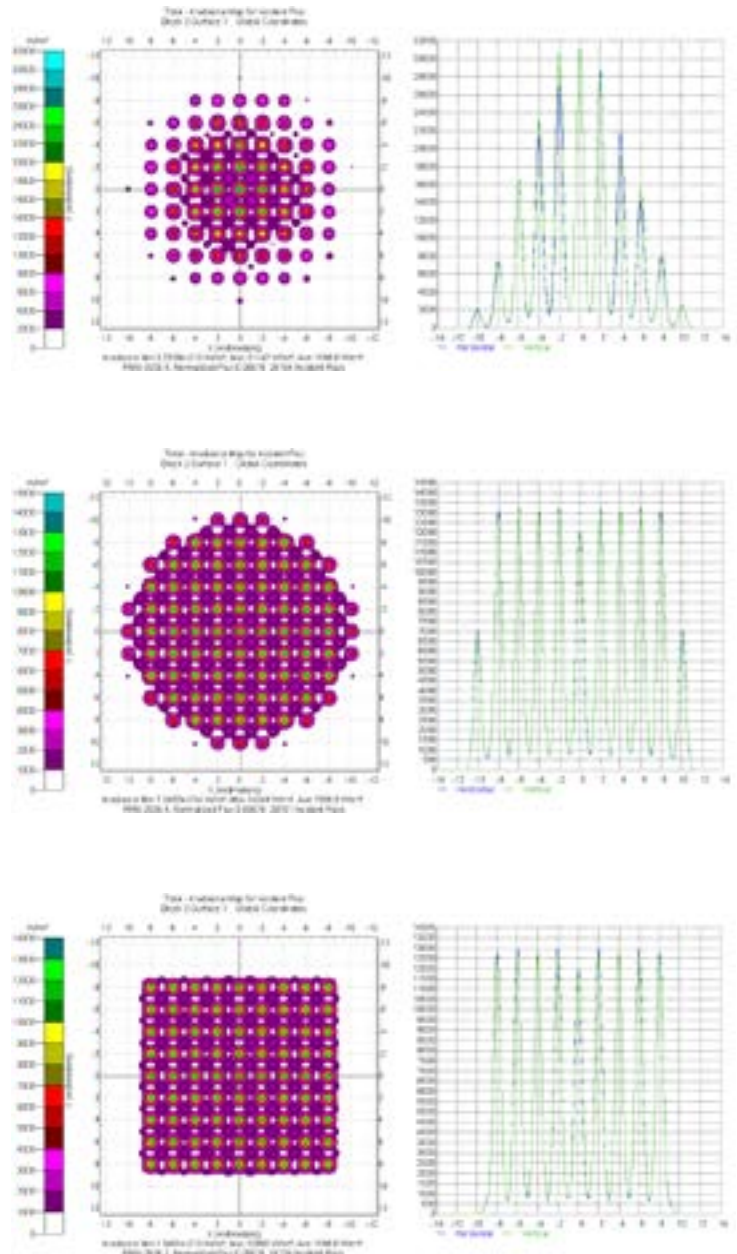


Bild 2:
Schematischer Vergleich der verschiedenen Strahleigenschaften: ein Gaußstrahl nach einem Linsenarray ohne zwischengeschalteten Homogenisierer (oben), ein Gaußstrahl mit rundem Homogenisierer (mitte), und ein Gaußstrahl mit quadratischem Homogenisierer (unten)

Diffraktive Strahlteiler

Auch mithilfe von diffraktiven Elementen können Beleuchtungsmuster generiert werden. Das Strahlprofil des Eingangsstrahls wird dabei auf alle Teilstrahlen gleichmäßig übertragen. Jeder Einzelstrahl besitzt somit die gleichen Strahleigenschaften und Intensitäten. Die generierten Einzelspots besitzen also die gleichen Eigenschaften wie der Eingangsstrahl. Die Intensitätsverteilung auf die Einzelspots ist somit auch bei Lasern mit gaußförmigem oder unregelmäßigem Strahlprofil homogen und in dermatologischen Behandlungen verwendbar.

Der Abstand der erzeugten Spots ergibt sich durch den Separationswinkel der einzelnen Teilstrahlen und dem Arbeitsabstand. Mittels einer optischen Linse, die hinter das DOE in den Strahlengang gestellt wird, werden die Einzelstrahlen fokussiert. Durch Variationen der Brennweite der Linse kann zudem der Abstand der Spots beeinflusst werden. Die Anzahl der Spots ist, genau wie beim Linsenarray, durch dessen Aufbau gegeben. Diffraktive Strahlteiler sind robuste Komponenten und in den Materialien Quarzglas, Saphir und ZnSe erhältlich (Bild 3).

Das Handling von DOEs ist im Vergleich mit anderen Lösungen sehr einfach: Leicht lässt sich beispielsweise der Abstand der Spots beziehungsweise der Arbeitsabstand auch in einem bestehenden System ändern. Hierzu muss lediglich die hinter dem DOE eingesetzte Linse mit einer Linse anderer Brennweite ersetzt werden. Durch den kompakten Aufbau lässt sich die Optik in ein Handgerät integrieren. Dabei sind die diffraktiven optischen Elemente vergleichsweise sogar preiswerter als die anderen vorgestellten Lösungen. Das gilt besonders für Standardelemente, bei Holo/OR unter Umständen aber auch für kundenspezifische Anfertigungen.



Bild 3: Multispot-DOE - Darstellung unter dem Mikroskop

Design-Hilfen

Beim Design optischer Systeme mit diffraktiven Multispot Elementen sollten ein paar Dinge berücksichtigt werden. So gilt dem Mittenspot besondere Aufmerksamkeit. In der Mitte eines Rasters ist die Lichtintensität aufgrund der nullten Beugungsordnung hoch. Bei einem Element mit einer geraden Spotanzahl ist die nullte Beugungsordnung jedoch unkritisch, da sie nicht zur Erzeugung des Strahlmusters verwendet werden kann. Dadurch ergibt sich eine leicht geringere Effizienz des Gesamt-Bauteils.

Aus diesem Grund bevorzugen viele Optik-Designer eine ungerade Spotanzahl. Zu beachten ist jedoch, dass bei der ungeraden Spotanzahl die Intensität des zentralen Spots nicht größer als bei den anderen Spots werden darf. Bei dermatologischen Anwendungen könnte das beispielsweise zu Verbrennungen auf der Haut führen.

Um diesem Problem vorzubeugen, setzt Holo/OR eine ausgeklügelte Patterndesign-Technologie ein, die dieses Phänomen nahezu verhindert. Hierbei wird in Kauf genommen, dass der zentrale Spot eher eine geringere Intensität hat als die benachbarten Spots.

Doch auch bei den geradzahligem Spot-Matrizen ist ein Meilenstein erreicht worden. Durch gezielte Steuerung der Intensität in den verschiedenen Beugungsordnungen konnte Holo/OR die Effizienz der geradzahligem Elemente signifikant erhöhen. Das beste Beispiel ist ein 8 x 8 Element, welches sowohl eine exzellente Uniformität als auch eine sehr hohe Effizienz aufweist.

Die Elemente sind einfach in ein optomechanisches Design integrierbar, da die Positionierung und auch die Verkippung unkritisch sind. Durch die flache Struktur können sie genauso einfach wie optische Fenster gehalten werden.

Diffraktive Strahlteiler mit hexagonaler Spotanordnung

In herkömmlichen diffraktiven Elementen, die als zweidimensionale Matrizen aufgebaut sind, sind die Spots in einem rechteckigen Raster mit m Zeilen mal n Spalten angeordnet, das heißt die Spots liegen nicht äquidistant zueinander. Sind die Spots in einer Matrix hexagonal angeordnet (Bild 4), so sind die Abstände zwischen den Spots immer gleich. Bei dem gleichen Spotabstand d sind in einem hexagonal angeordneten Array die behandelten und unbehandelten Bereiche in einer besseren Balance als bei einem rechteckig angeordnetem Array.

Holo/OR hat daher schon im Jahr 2008 Elemente mit 19 beziehungsweise 37 Spots entwickelt, die bereits für dermatologische Behandlungen eingesetzt werden. Die äquidistante Anordnung der einzelnen Spots zu ihren Nachbarn bringt klinisch erwiesene Vorteile.

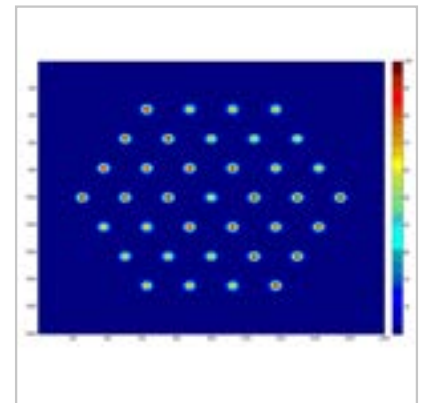


Bild 4: Beispiel einer hexagonalen Anordnung mit 37 Spots

Anwendung in der Dermatologie

Die Fractional Laser Technologie (FLT) ist ein etabliertes und zeitgleich eines der modernsten Verfahren zur Hauterneuerung und Auffrischung. Dem Experten ist die Technologie auch als »fractional photothermolysis« bekannt. Neben der Hauterneuerung wird die FLT zur Behandlung von Pigmentierungen der Haut und zur Verbesserung der Oberflächenstruktur der Haut verwendet. Auch die Narbenbehandlung, egal ob Aknenarben oder OP-Narben, wird immer häufiger mit dieser Technologie durchgeführt. Die vorteiligen Eigenschaften lassen einen klaren Trend hin zu diesem innovativen Verfahren erkennen.

Hautbehandlungen mit FLT nutzen die hohe Energie der Laser-Ablation und bieten gleichzeitig eine höhere Sicherheit bei der Behandlung und schnellere Regeneration verglichen mit nicht-ablativen Laser-Behandlungen. Für den Patienten bedeutet das ein relativ risikofreies und schmerzfreies Vorgehen.

Die Haut wird bei diesem Verfahren punktuell bestrahlt (Bild 5). Die einzelnen Belichtungsraster haben, bezogen auf ein mikroskopisches Level, weite Abstände. Der aufgeteilte Laserstrahl durchdringt die Haut in sehr kleinen Flächen und nur einigen μm Tiefe, ohne die benachbarten Zellen zu beeinflussen. In den kleinen Spots der behandelten Haut werden die alten, zerstörten Zellen durch das Ausbessern des Bindegewebes durch neue und gesunde Haut ersetzt. Das neu gebildete Gewebe verbessert die Hautbeschaffenheit und glättet Falten. Die unbehandelten Bereiche dienen der Gewebestabilität und fördern eine schnelle Genesung.

Die Methode der punktuellen Laserbestrahlung mit hochenergetischem Licht gewinnt am Markt immer mehr Popularität. Der Grund liegt in den Vorteilen gegenüber großflächigen konventionellen Hautbehandlungen mit dem Laser. Der größte Pluspunkt dieses relativ neuen Verfahrens ist die deutlich schnellere Genesung der Haut.



Bild 5: Handgerät zur minimalinvasiven Hautbehandlung mittels Laser

Fazit

Noch sind verschiedene Verfahren bei dermatologischen Laser-Anwendungen im Einsatz. Aufgrund der Kosten-/Leistungs-Vorteile diffraktiver Elemente ist eine Marktverschiebung in diese Richtung zu erwarten. Gerade die hexagonalen Elemente sind noch weitestgehend unbekannt. Die in ersten Tests erzielten Ergebnisse lassen jedoch enorme Vorteile bei dermatologischen Behandlungen erwarten. Hier können wir gespannt in die Zukunft schauen.

Autoren

Moshe Bril ist Sales- und Marketingmanager bei Holo/OR in Rehovot, Israel. Barbara Herdt ist für den Vertrieb von optischen Komponenten bei Laser Components zuständig.

Artikel ähnlich erschienen in der Laser+Photonik, Ausgabe 3/2011