

Digitale Encoder für präzise Laser-Scan-Systeme

Genau und zuverlässig arbeiten moderne Scan-Köpfe in industriellen Anwendungen wie Photovoltaik oder Mikro-materialbearbeitung.

Galvanometer im klassischen Sinne sind hochgenaue Drehspul-Messinstrumente. Kern eines optischen Galvanometers ist ein Spiegel, der an einem feinen Draht befestigt ist. Durch eine Spule am Ende des Drahtes wird er gedreht und so lassen sich sehr kleine Ströme über die Ablenkung des Lichtstrahls messen.

Die Galvo-Scanner von heute haben mit diesem sensiblen Instrument nur noch wenig zu tun: Der Spiegel ist jetzt auf der Achse eines Präzisionsmotors befestigt, wo er sich extrem schnell und präzise drehen lässt. Zwei dieser Systeme hintereinander geschaltet ermöglichen die schnelle Positionierung eines Laserstrahls in zwei Dimensionen, zum Beispiel beim Laser-Markieren. Integriert in einen robusten Scan-Kopf und angesteuert von speziell entwickelter Hochgeschwindigkeitselektronik arbeiten solche Scanner heutzutage im 24-h-Dauerbetrieb. Präzision und Geschwindigkeit sind da ebenso gefordert, wie Lebensdauer und ein gutes Preis-Leistungsverhältnis.

Positioniergenauigkeit hängt vom Encoder ab

Ein entscheidendes Merkmal eines modernen Scanners ist die Präzision, mit der er einen Laserstrahl positionieren kann. Sie hängt von der Genauigkeit ab, mit der die Drehung der Motorachse erfasst wird. Dafür werden verschie-

dene Encoder an der Spiegelachse verwendet.

Die klassische (und preisgünstigste) Variante erinnert noch an den Namen Galvanometer, dabei wird die Position des Spiegels über ein analoges, kapazitives Signal gemessen. Die Genauigkeit dieses Verfahrens ist begrenzt, und wie das historische Vorbild ist es empfindlich gegen elektromagnetische Störungen und Temperatureinflüsse.

Genauer sind optische, analoge Encoder, dabei überdeckt ein Segment, das an der Rotorachse montiert ist, einen analogen Photodetektor, der von einer LED beleuchtet wird. Hierbei sind jedoch thermische Einflüsse zu berücksichtigen, Drifteffekte machen sich bemerkbar.

Am genauesten sind zurzeit digitale optische Encoder. Mit dem Digitalsignal vereinfacht sich auch die weitere elektronische Verarbeitung, und elektromagnetische Störeinflüsse werden eliminiert. Das Verfahren ist dabei ähnlich

wie bei Präzisionslineartischen, es beruht entweder auf einer Maßverkörperung mit Teilungen (auf einer Scheibe) oder man nutzt die Minima und Maxima interferometrischer Effekte. Solche digitalen Encoder ermöglichen eine Auflösung von bis zu 20 Bit, umgerechnet auf ein Bildfeld mit 100 mm Seitenlänge entspricht das etwa $0,1 \mu\text{m}$.

Encoder in der Praxis

Auch bei herkömmlichen digitalen optischen Encodern muss zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit unterschieden werden. Dabei gilt: Je größer die Encoder-Scheibe, desto mehr »Striche« lassen sich auf ihr unterbringen und umso höher kann die Genauigkeit sein. Gleichzeitig sollte aber die bewegte Masse so gering wie möglich gehalten werden, um die Geschwindigkeit des Scanvorgangs zu maximieren. Dementsprechend lassen sich bei kleinen schnellen Spiegeln nur kleine Encoder-Maßverkörperungen verwenden. Bei einem System mit großen Spiegeln kommen auch größere Motoren zum Einsatz, das zusätzliche Trägheitsmoment durch die Encoder-Scheibe spielt dann kaum eine Rolle. Hochgenaue, digitale Encoder für große Spiegelaperturen existieren daher schon eine geraume Zeit.

Bei den Scannern von Scanlab aus Puchheim bei München wurde das Problem so gelöst, dass es die genauesten



Anlauf: Abgebildet sind dynAXISse, moderne 10 mm Galvo-Scanner mit digitalem Encoder. Unten: Komplette Scan-Köpfe (intellcube 10) sind robust und modular. Abb.: Scanlab

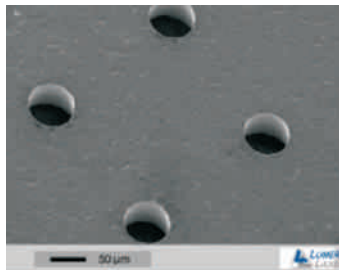


Der Autor

Georg Hofner ist Diplom Physiker und seit dem Jahr 2002 CEO der Scanlab AG.

Encoder (erkennbar am Namen durch den Suffix de) erst ab einer Spiegelapertur von 14 mm gibt. Sie bieten bis zu 20 Bit echte Positionsauflösung. Davon zu unterscheiden ist die theoretische Auflösung, die die Ansteuerung ermöglicht. So sind Auflösungen von 24 Bit zu verstehen, die gelegentlich in Werbebroschüren angeboten werden. Bei einem Bildfeld von 100 mm entspräche das weniger als 10 nm, die Ortsauflösung wäre im atomaren Maßstab! Solche Auflösungen sind am Werkstück derzeit nicht erzielbar, allein das (sehr kleine) Positionsrauschen der Systeme ist schon deutlich größer.

Als günstige Alternative dazu hat Scanlab ein völlig neues optisch-digitales



50 µm Löcher in einer 50 µm Stahlfolie. Der Scanner führt dabei einen 20-µm-Fokus auf dem Material.



Rechts: Mikrostruktur in Saphir, für eine mikrofluidische Komponente (lab on the chip). Der Scanner führt einen 20-µm-Fokus auf dem Material, der Puls-zu-Puls-Versatz ist dabei typischerweise 1 bis 5 µm. Fotos: Lumerica Laser

Verfahren entwickelt. Dabei wird ein Reflektor an der Spiegelachse für ein interferometrisches Messverfahren genutzt. Dieser Aufbau lässt sich ohne Dynamikeinschränkungen auch bei kleinen Galvos verwenden. Die Scanner mit dem Suffix se im Namen erreichen eine Genauigkeit von 17 bis 18 Bit in der Ortsauflösung. Bei einem deutlich günstigeren Preis liegen sie damit um gerade einmal einen Faktor 4 unter der Auflösung der Scanner mit dem Suffix de. Einen Vergleich der verschiedenen Encoder und ihre Vorteile zeigt Tabelle links.

Encoder	Ortsauflösung	Drift / Dither	Geschwindigkeit	Apertur (Spiegelgröße)
analog (<i>-Serie</i>)	ca. 16 Bit	+	++	8,5 - 30 mm
digital (<i>-Serie</i>)	bis 18 Bit	+	++	10 - 30 mm
digital (<i>-Serie</i>)	bis 20 Bit	++	+	14 - 30 mm

Höchste Auflösung für Micromachining

Die Popularität von Smartphones, Tablet-Computern und anderen tragbaren elektronischen Geräten hat auch im Bereich der Mikromaterialbearbeitung zu einem beachtlichen Nachfrageschub geführt. Nach Angaben des Experten David Belforte (Industrial Laser Solutions, 1/2011) wuchs der Markt für die entsprechenden Lasersysteme im vergangenen Jahr um 59 %. Mit einem weiteren Wachstum im zweistelligen Bereich wird gerechnet.

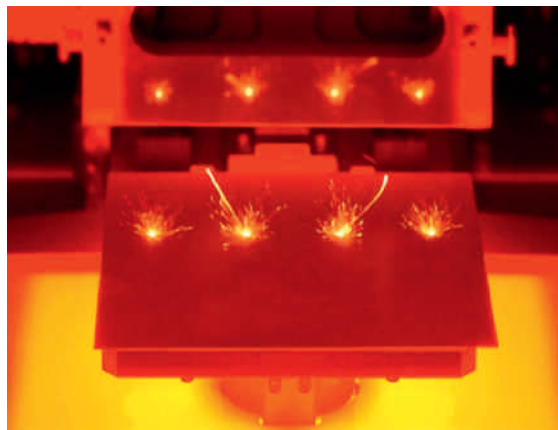
Laser-Scan-Systeme spielen dabei eine nicht unwesentliche Rolle. Sie sind für die Massenfertigung elektronischer Komponenten unabdingbar, an vielen Stellen ermöglichen sie erst den hohen Durchsatz bei gleichbleibender Qualität. Die Genauigkeit geht dabei bis in den Mikrometerbereich. Schnelligkeit und Präzision sind hier die wichtigsten Anforderungen an die Scan-Systeme. Digitale Encodersysteme bieten dafür eine gute Lösung, da sie neben einem geringen Positionsrauschen auch eine hohe Reproduzierbarkeit garantieren. Daneben kommt auch der Ortsauflösung eine wachsende Bedeutung zu. Denn je größer die zu bearbeitende Fläche, also das Bildfeld des Scanners, oder je kleiner die zu bearbeitenden Strukturen sind, umso größer sind die Anforderungen an die Positioniergenauigkeit.

Besonders hoch sind die Anforderungen bei Anwendungen ultrakurzer Laserpulse. Die Repetitionsraten gehen bis in den MHz-Bereich, der Spot muss sich entsprechend mit mindestens einigen Metern pro Sekunde bewegen. Andererseits ist diese Technologie für viele schwierige Materialien einsetzbar, wie eine mit einem ps-Laser bei 1 MHz erzeugte Struktur in Saphir zeigt.

Scanner in der Solarzellenfertigung

Laser haben heutzutage einen wesentlichen Anteil am Produktivitätszuwachs in der Herstellung von Solarzellen. Ty-

pische Laseranwendungen in der Photovoltaik sind Ritzen (scribing), Mikrobohren, das Entfernen von Halbleiterschichten, Mikroschweißen von Modulverbindungen und das laserunterstützte Emitterdoping. Die Hauptanforderungen an die Lasertechnik sind dabei generell die Erhöhung des Durchsatzes bei gleichzeitiger Senkung der Stillstandzeiten. Für die Erhöhung des Durchsatzes werden mehrere Scan-Köpfe parallel eingesetzt, was die Anforderungen an Präzision, Reproduzierbarkeit und Positionsrauschen entsprechend erhöht. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei das »Matching« mehrere Köpfe dar. Um einen solchen definierten Zustand langfristig zu erhalten, müssen die einzelnen Köpfe sehr driftstabil sein.



Die Photovoltaik ist ein typisches Anwendungsfeld für hochgenaue Scan-Systeme.

Neben einer Temperaturstabilisierung und weiteren Technologien wie einer Selbstkalibrierung sind dazu natürlich hochauflösende und langzeitstabile Scan-Systeme notwendig. Den digitalen Scan-Systemen gehört in diesem Bereich die Zukunft.

Die Entwicklung und Erprobung der Fertigungstechnik für die Photovoltaik erfordert eine Zusammenarbeit über alle Bereiche. Dazu gehören die Hersteller von Laserquellen, Scannertechnik und Robotern ebenso wie die Anwender in den Fabs und die Ingenieure der Prozessentwicklung. Im EU-Förderprojekt SOLASYS hat sich eine Gruppe europäischer Firmen und Institute zusammengefunden, um die Laserprozes-

se und -ausrüstungen für die nächste Generation der Solarzellenfertigung zu erarbeiten. Das Projekt wurde mit 3,5 Millionen Euro von der EU unterstützt und endete am 31.8.2011.

Ausblick

Sowohl die Lasertechnik, die Scanner-technik als auch die industriellen Anwendungen haben sich in den letzten Jahren enorm weiterentwickelt. Auf der Scannerseite sind durch die schrittweise Einführung von Digitaltechnik bei der Verarbeitungselektronik, der Datenübertragung und bei den Encodern deutliche Fortschritte in der Leistungsfähigkeit und bei der Robustheit der Systeme erzielt worden. Parallel dazu

haben sich verschiedene Anwendungen weiterentwickelt bzw. sind überhaupt neu entstanden.

Speziell in der Lasermaterialbearbeitung lassen sich durch die Einführung der Remote-Bearbeitung erhebliche Effizienzgewinne erzielen. Diese Anwendungen stellen selbstverständlich auch wachsende Anforderungen an die Scan-Systeme. Möglichst große Bildfelder müssen möglichst schnell und ohne Kompromisse bei der Auflösung bearbeitet werden.

Zum eigentlichen Scanner kommt dann auch noch die geeignete Fokussieroptik hinzu, die in dieser Ausarbeitung aber nicht weiter

diskutiert wird. Bei den Scannern sind rein digitale Systeme auf dem Vormarsch, speziell Galvanometer-Scanner mit optisch-digitalen Encodern bieten die geeignete Kombination von Präzision und Flexibilität. Zum Beispiel mit automatischen Tuning-Wechseln (Vektor- und Sprung-Modus) werden sie den Anforderungen der Anwender auch in Zukunft gewachsen sein. Eine wichtige Rolle spielen auch Überwachungs- und Diagnosefunktionen, hier wird die rein digitale Elektronik noch weitere Vorteile ausspielen.

KONTAKT

Scanlab AG
www.scanlab.de