

LASER IN DER PHOTOVOLTAIK



DQS zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001:2015
Reg.-Nr. 069572 QM15

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Institutsleitung
Prof. Constantin Häfner

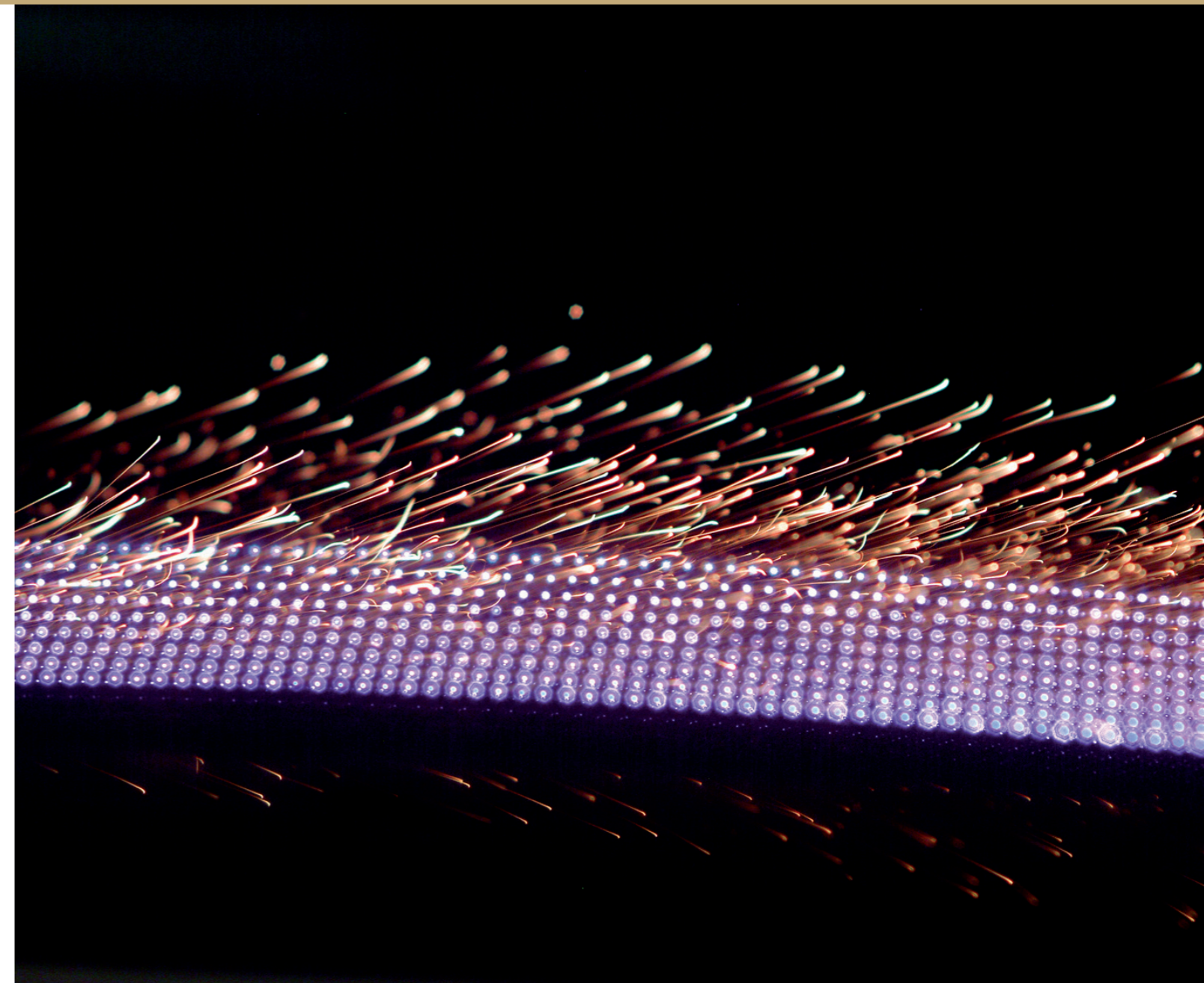
Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-0
Fax +49 241 8906-121

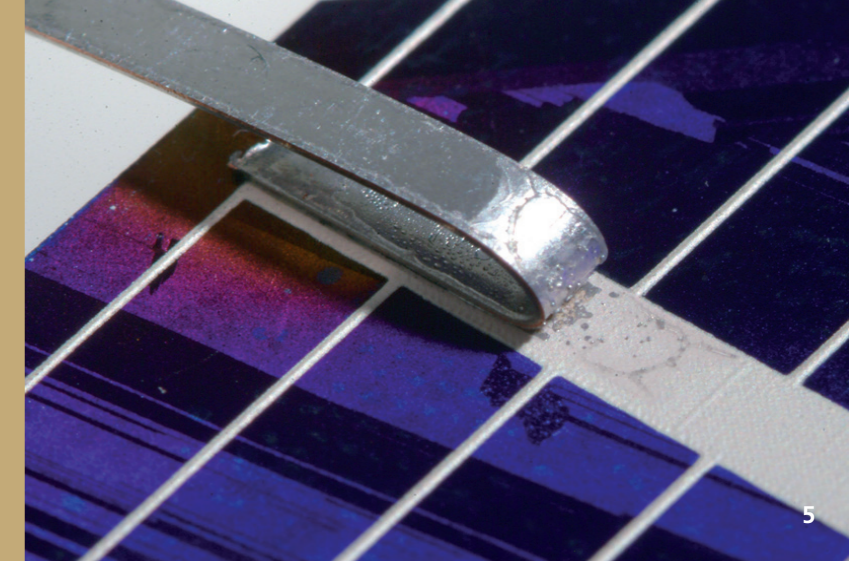
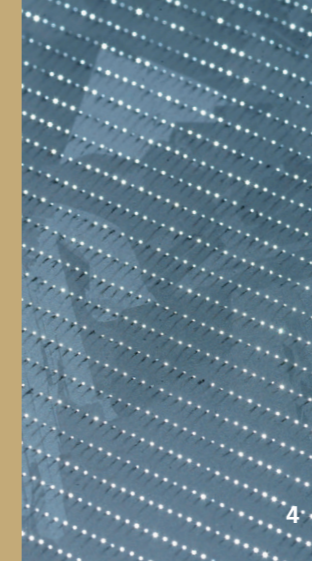
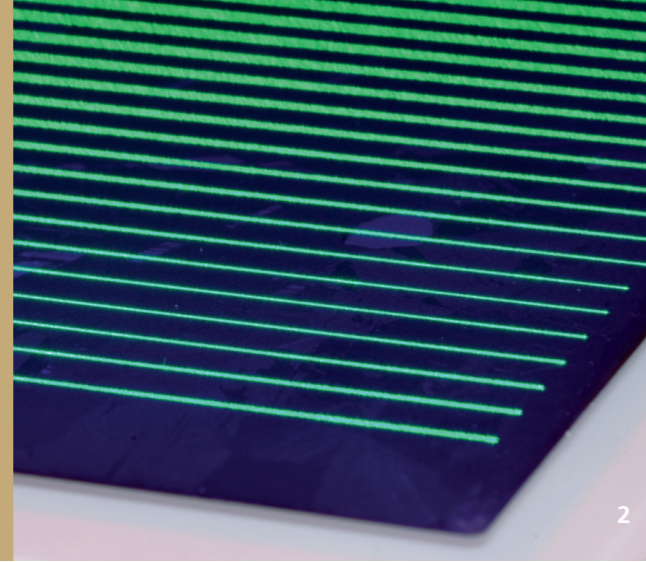
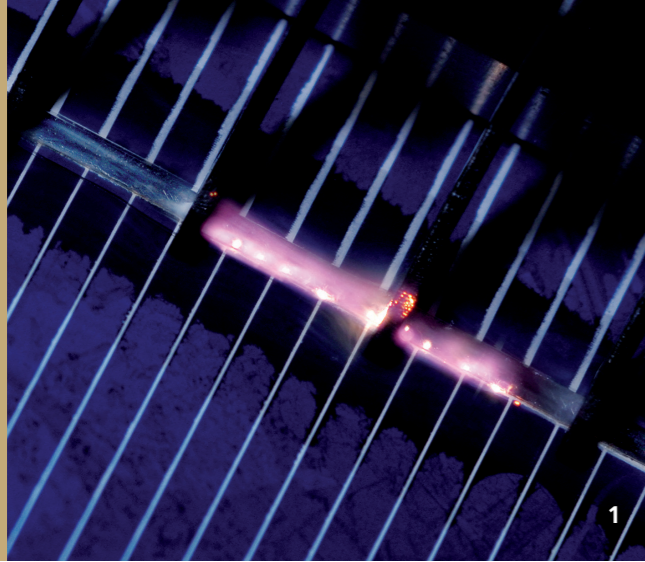
info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Unsere Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik, sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählen beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Additive Manufacturing. Weiterhin entwickelt das Fraunhofer ILT photonische Komponenten und Strahlquellen für die Quantentechnologie.

Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Digitalisierung, Prozessüberwachung und -regelung, Simulation und Modellierung, KI in der Lasertechnik sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungslinie. Im Vordergrund stehen Forschung und Entwicklung für industrielle und gesellschaftliche Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Produktion, Mobilität, Energie und Umwelt. Das Fraunhofer ILT ist eingebunden in die Fraunhofer-Gesellschaft.





LASER IN DER PHOTOVOLTAIK

Die Solarenergie stellt im Energiemix von morgen eine unverzichtbare Größe dar. Um die Konkurrenzfähigkeit von Photovoltaikanlagen gegenüber konventionellen, fossilen Energieträgern zu gewährleisten, müssen die Produktionskosten der PV-Module reduziert und der Wirkungsgrad der Solarzellen gesteigert werden. Der Lasertechnik kommt bei der kostengünstigen Herstellung qualitativ hochwertiger Solarzellen im industriellen Maßstab eine Schlüsselrolle zu. Das Fraunhofer ILT entwickelt hierfür industrielle Laserverfahren und die erforderlichen Komponenten für einen wirtschaftlichen Fertigungsprozess mit hoher Prozesseffizienz.

Dünnschichtstrukturierung mit Ultrakurzpulslasern

Solarzellen erzeugen elektrischen Strom durch einen photoelektrischen Effekt in halbleitenden Materialien. Bei klassischen Silizium-Solarzellen wird zur Kontaktierung des dotierten Siliziums eine dünne leitfähige Schicht aus Metall aufgetragen. Bei moderneren organischen Dünnschicht-Solarzellen werden Kontaktierungen und halbleitende Schichten auf eine transparente Folie appliziert. Bei beiden Typen von Solarzellen werden dünne Anti-Reflex- und Passivierungsschichten verwendet, die zu einer Verbesserung der optischen und elektrischen Eigenschaften und damit zu höherer Effizienz führen. Diese dünnen Schichten müssen mit hoher Präzision selektiv an definierten Stellen abgetragen werden. Ultrakurzpuls-Laserstrahlung mit hoher Präzision bei hohem Durchsatz und Geschwindigkeiten bis zu 10 m/s ist hier ein ideales Werkzeug. Mit einer angepassten zeitlichen und örtlichen Formung der Laserstrahlung erlauben UKP-Laser einen vollständigen Abtrag der Schichten mit einer Linienbreite von wenigen Mikrometern ohne dabei das Substrat oder die darunter befindliche Schicht zu beschädigen.

Strukturierung von transparent-leitfähigen Schichten für die organische Elektronik

Schichten mit Dicken unter 100 Nanometern sind äußerst empfindlich und können leicht degradieren oder ihre Funktion einbüßen. Gründe hierfür können Partikel und Rückstände aus Ablösungen bestrahlter Schichten, thermische Schädigung benachbarter Bereiche und anderer Schichten sowie die Erzeugung von Aufwürfen im Randbereich des Abtrags sein. Um eine ausreichend hohe Qualität zu erzielen, müssen bei der Prozessentwicklung Parameter wie Gasatmosphäre, räumliche und zeitliche Pulsform und nachträgliche Reinigung berücksichtigt oder Hybridprozesse wie thermochemische Ablation eingesetzt werden. Vor allem bei der Strukturierung des in vielen Bereichen eingesetzten transparenten, leitfähigen Indium-Zinn-Oxids (ITO) entstehen Randaufwürfe, die für nachfolgende Beschichtungen kritisch sind. Das Fraunhofer ILT entwickelt Verfahren, die je nach Anforderungen der Anwendung die genannten Fehlerquellen signifikant reduzieren, beispielsweise durch Verwendung angepasster Wellenlängen, Pulsdauern und Abtragstrategien.

1 Laserlöten zur Verbindung von Solarzellen.

2 Laserablation der Siliziumnitrid-Schicht.

Strukturierung von Silizium-Solarzellen zur Effizienzerhöhung durch Absorptionsoptimierung

Antireflexschichten auf Silizium-Solarzellen führen zu reduzierten Reflexionen an der Zelloberfläche und dadurch zu einer Effizienzsteigerung bei Solarzellen. Um das Energiepotential der Sonnenstrahlung auszuschöpfen, müssen Reflexionen weiter minimiert und Absorptionen maximiert werden. Um minimale Reflexion und maximale Absorption bei Silizium-Solarzellen zu erreichen, werden Oberflächen von Solarzellen mittels Laserstrahlung und Plasmaätzverfahren bearbeitet. Die Bearbeitung mit Laserstrahlung ermöglicht eine definierte periodische μm Strukturierung der Oberfläche, welche die Absorption der energieintensiven Anteile der Sonnenstrahlung begünstigt. Im anschließenden Plasmaätzverfahren wird auf diese μm -Struktur eine nm-Struktur aufgebracht, welche die Reflexion stark reduziert. Eine Kombination von oberflächigen Strukturen, welche die Effizienz der Silizium-Solarzellen vergrößern wird.

Laserstrahldotieren für selektive Emittier

Für die Herstellung von Silizium-Solarzellen werden Silizium-wafer zur Erzeugung des Emitters mit Phosphor dotiert. Dabei wird heute mit der Dotierungskonzentration ein Kompromiss zwischen Leitfähigkeit und Lebensdauer der freien Ladungsträger gewählt. Mit selektiv einstellbaren Dotierungsprofilen des Emitters kann eine weitere Effizienzerhöhung erreicht werden. Ausgehend von einer schwachen Grunddotierung wird im Bereich der Kontaktierung die Dotierung lokal erhöht. Für dieses lokale Nachdotieren ist der Laser das ideale Werkzeug, mit dem das Silizium selektiv geheizt bzw. aufgeschmolzen wird. Die Verwendung verschiedener Dotanden-Quellen (gasförmig, flüssig oder in Form von dünnen Phosphorglas-Schichten) erlaubt eine variable Dotierungskonzentration. Je nach

gewünschtem Dotierungsprofil werden dabei unterschiedliche Laserwellenlängen mit entsprechenden Eindringtiefen sowie angepassten zeitlichen Bestrahlungsprofilen verwendet. Bei entsprechender Wahl der Verfahrensstrategie lässt sich der Dotierprozess auch mit einem ohnehin notwendigen Strukturierungsprozess verbinden.

Löten und Schweißen von Solarmodulen

Um aus einzelnen Solarzellen Solarmodule zu erzeugen, werden mehrere Zellen langzeitstabil miteinander kontaktiert. Derzeit erfolgt die Kontaktierung mittels Infrarotlöten oder selektivem Thermolenlöten. Insbesondere bei dünner werdenden Zellen besteht hierbei die Gefahr der Rissbildung durch thermisch und mechanisch induzierte Spannungen. Beim Laserlöten erfolgt der Energieeintrag sehr selektiv, ohne den Wafer wesentlich aufzuheizen. Der Prozess wird zusätzlich mit einem Pyrometer überwacht, so dass die Laserleistung während des Lötens in Echtzeit angepasst werden kann. Dies sorgt für ein ideales Temperaturprofil auf der Zelle. Gleichzeitiges Löten der Vorder- und Rückseite ist durch einen Aufbau aus zwei Strahlengängen möglich, so dass Prozesszeiten unter drei Sekunden pro Zelle möglich sind. Für künftige Zellkonzepte erlaubt das Laserstrahlschweißen im Vergleich zum Löten zehnfach höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten.

Ansprechpartner

Ludwig Pongratz M.Sc.
Telefon +49 241 8906-8044
ludwig.pongratz@ilt.fraunhofer.de

Prof. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

- 3 Ablatierte Linien in einer Siliziumschicht.
- 4 Hochrate-Laserbohren für EWT-Solarzellen.
- 5 Lasergelöteter Zellverbinder mit Abzugskraft > 4 N.