

THERMOELEKTRIK

Hochtemperatur-Module: erste Schritte zur Serienfertigung

Thermoelektrische Module sind Hightech-Produkte – und werden zum Großteil in Handarbeit gefertigt. Mit einem Laborprozess zur teilautomatisierten Fertigung von Hochtemperatur-Modulen macht Fraunhofer IPM nun einen ersten Schritt in Richtung industrielle Modulproduktion.

Die weltweite Nachfrage nach thermoelektrischen Modulen ist in den vergangenen Jahren stark gestiegen. Vielversprechend ist vor allem der Markt für Hochtemperatur-Module, die zur Nutzung von Abwärme bei Temperaturen weit über 250 °C eingesetzt werden. Am Fraunhofer IPM arbeitet eine der weltweit führenden Forschungsgruppen auf dem Gebiet der Hochtemperatur-Module.

Dank entscheidender Fortschritte in Forschung und Entwicklung sind heute thermoelektrische Materialien für diese hohen Anwendungstemperaturen verfügbar und in großem Maßstab produzierbar – dazu zählen u. a. Halb-Heusler-Verbindungen, Skutterudite sowie Silizide. Diese neuen Materialien nutzt Fraunhofer IPM für den Bau thermoelektrischer Module, die in stationäre Anwendungen wie BHKW oder mobile Systeme wie Fahrzeuge integriert werden. Bei der Herstellung von Hochtemperatur-Modulen erfolgen bisher noch immer viele Prozessschritte von Hand. Bestrebungen, die Fertigung thermoelektrischer Module zu automatisieren, beschränkten sich bis dato auf Raumtemperatur-Module, die schon seit Jahrzehnten kommerziell erhältlich sind. Die Fertigung der neuen thermoelektrischen Hochtemperatur-Module wird nun erstmalig am Fraunhofer IPM größtenteils automatisiert.

Fingerspitzengefühl und Konzentration

Thermoelektrische Module bestehen aus n- und p-leitenden Materialien, den so genannten Schenkeln, die thermisch parallel und elektrisch in Reihe geschaltet sind. Die Wandlung der Abwärme basiert auf dem so genannten Seebeck-Effekt: Ein Wärmefluss durch das Modul erzeugt einen elektrischen Strom. Damit dies effizient geschieht, werden die Schenkel auf ein Material mit möglichst hoher elektrischer Leitfähigkeit kontaktiert. Das Modul schließt nach außen beidseitig mit dünnen Keramikplatten ab. Die Modulherstellung umfasst im Wesentlichen folgende Prozessschritte: Die zylinderförmigen Materialrohlinge werden auf Maß geschliffen und zu Schenkeln gesägt. Diese werden dann durch Löt- oder Schweißen mit den elektrischen Kontakten verbunden.

Vor allem beim manuellen Positionieren der Schenkel sind Fingerspitzengefühl und Konzentration gefragt: Bis zu 80 Schenkel pro Modul, jeder einzelne mit einer Kantenlänge von zirka einem Millimeter, werden unter dem Mikroskop mithilfe einer Pinzette von Hand auf das Kontaktmaterial positioniert. N- und p-leitende Schenkel, die optisch kaum voneinander zu unterscheiden sind, müssen schachbrettartig angeordnet sein. Ist auch nur ein Schenkel am falschen Platz, so funktioniert das fertige Modul nicht.

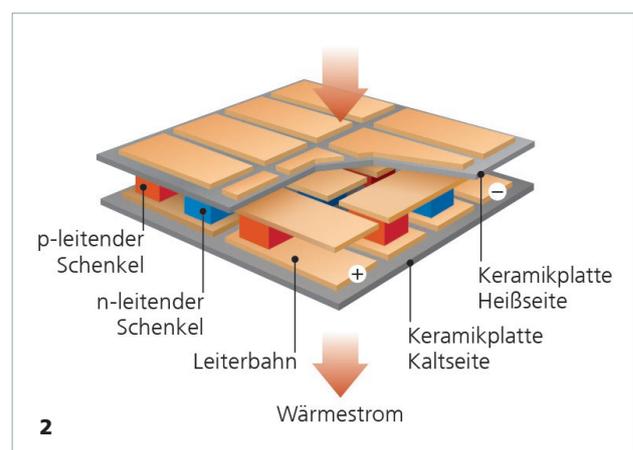
ENERGIEEFFIZIENZ DURCH »ENERGY HARVESTING« Thermoelektrische Module wandeln Wärme in elektrische Energie. Die robusten, wartungsarmen Wandler sind geeignet, Strom aus Abwärme von Verbrennungsmotoren, Kraftwerken oder Industrieanlagen zu gewinnen. Energie, die heute zumeist ungenutzt bleibt. Thermoelektrisches »Energy Harvesting« kann dabei helfen, die Energieeffizienz solcher Prozesse deutlich zu steigern.

Eine Positionsgenauigkeit von rund 0,1 Millimeter ist nötig, um die Funktionsfähigkeit der Module zu gewährleisten. Alle Schritte müssen deshalb mit höchster Präzision erfolgen. Der gesamte Kontaktierungsvorgang inklusive Löttemperatur, Lotmenge und Prozessierung muss reproduzierbar und präzise durchgeführt werden.

Automatisierung und Messtechnik

Mit dem Modulbauprozess, den Fraunhofer IPM Anfang 2016 in Betrieb nahm, sind nun viele Fertigungsschritte automatisiert: Eine automatische Präzisionssäge sorgt für exakt gefertigte Schenkel. Die Positionierung der Schenkel übernimmt ein Setzautomat. Ein am Institut entwickelter automatischer Löttaufbau steuert den Lötvorgang präzise und effizient. Zur Qualitätssicherung wird der Herstellungsprozess an verschiedenen Stellen durch speziell angepasste Messtechnik überwacht: Elektrische Leitfähigkeit und Seebeck-Koeffizient der Materialrohlinge werden bestimmt, die Form der Schenkel nach dem Sägen wird kontrolliert und die fertigen Module auf die gewünschten elektrischen Eigenschaften wie beispielsweise den Innenwiderstand getestet. Dabei kommen zum Großteil von Fraunhofer IPM entwickelte Messsysteme zum Einsatz, die bei Bedarf eine hundertprozentige Kontrolle in Echtzeit ermöglichen.

1 Der Setzroboter platziert die Schenkel präzise auf die Keramikplatte. Ein Modul besteht aus bis zu 80 schachbrettartig angeordneten Schenkeln aus n- und p-leitenden thermoelektrischen Materialien.



2 Aufbau eines thermoelektrischen Moduls.

Fraunhofer IPM macht mit der Inbetriebnahme der teilautomatisierten Kleinserienfertigung und der Steigerung der Produktionskapazität auf mehrere tausend Stück pro Jahr einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Etablierung industrieller Modulbau-Prozesse und niedrigerer Modulpreise.