

Unsichtbarer Leistungsträger in der Elektronik

Mit Metal Mesh werden Signalübertragung, Heizen und Abschirmen transparent



Leistungsdichten von bis zu 3.000 W/m²: Transparente Flächenheizer auf Basis von Metal Mesh verhindern z. B. den Beschlag oder die Vereisung von Kamerafenstern, Lidar- oder Radarsensoren
© Bopla Gehäuse Systeme GmbH

Transparente Oberflächen sind bei modernen technischen Produkten längst mehr als ein Designelement, sie sind funktionale Schnittstelle, Schutz und Kommunikationsmedium. Gleichzeitig sollen Geräte oder Funktionsbauteile kompakt, robust und zuverlässig sein. Sichtbare Antennen, separate Heizsysteme oder zusätzliche Schirmbleche passen nicht in dieses Konzept. Eine Lösung liegt in transparenten, leitfähigen Strukturen auf Metal-Mesh-Basis, die mehrere Funktionen in einer einzigen Folie bündeln können. Die Bopla Gehäuse Systeme GmbH nutzt diese Technologie für hochspezialisierte Systemlösungen, mit denen sich selbst komplexe Funktionen unsichtbar in Oberflächen integrieren lassen, ohne die Optik elektronischer Geräte zu beeinträchtigen.

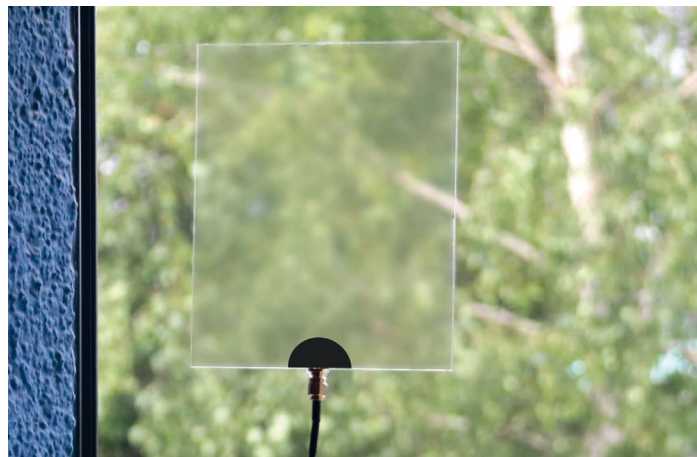
Steigende Anforderungen

Funktionale Anforderungen an technische Flächen steigen stetig: Sie sollen heizen, Signale übertragen, elektromagnetische Störungen abschirmen oder Sensorik integrieren. Gleichzeitig wächst der Anspruch an die Gestaltung und Miniaturisierung. Transparenz wird zum Designelement, die Technik dahinter soll optisch möglichst unsichtbar bleiben. Was wie ein Widerspruch erscheint, lässt sich

mit einer Struktur lösen, die dünner ist als ein menschliches Haar: Metal Mesh. Hinter diesem Begriff verbirgt sich ein hochpräzises Metallgitter aus ultrafeinen Leiterbahnen im Mikrometerbereich, eingebettet in transparente Substrate wie PET, Polycarbonat oder Glas. Linienbreiten unter 5 µm sorgen dafür, dass die Struktur optisch kaum wahrnehmbar ist. Transmissionen von über 90 % im Wellenlängenbereich von 400 bis 900 nm sind ebenso realisierbar wie Flächenwiderstände von 0,2 bis 12 Ω/Quadrat. Damit werden transparente Glas- oder Kunststoffoberflächen zu aktiven Systemkomponenten.

Metal Mesh statt ITO: Leitfähig, flexibel und langlebig

Transparente, leitfähige Schichten sind aus Displays und Touchscreens bekannt. In der Industrie kommt dafür häufig Indiumoxid (ITO) zum Einsatz. Das keramische Material ist jedoch spröde und empfindlich. Wird es gebogen oder mechanisch belastet, kann es leicht brechen. Das macht es ungeeignet für flexible faltbare oder biegbare Displays und smarte Kleingeräte. Zudem ist ITO mit hohen Rohstoffkosten verbunden, denn es enthält das seltene Metall Indium. Zur Verarbeitung sind energieintensive Hochtemperaturprozesse notwendig.



Unsichtbar bei hoher Leistungsfähigkeit: Metal Mesh eröffnet neue Freiheitsgrade in Funktionsintegration und Design © FTS Hennig

Eine echte Alternative, die diese Nachteile umgeht, bietet sich der Industrie mit Metal-Mesh-Strukturen. Metal Mesh basiert auf fein strukturierten Metallgittern, die durch präzise Druck- oder Ätzverfahren mit Silber, Kupfer oder Hybridlösungen mit Carbon-Nanotubes erzeugt werden. Die Linien sind so schmal, dass sie optisch kaum wahrnehmbar sind. Damit werden bei minimalen Schichtdicken niedrigere Widerstände und gleichmäßige elektrische Eigenschaften erreicht, die auch nach mehr als 10.000 Biegezyklen stabil bleiben, und das bei hoher Transparenz. Der metallische Aufbau der Produkte ermöglicht zudem eine thermische Stabilität bis etwa 100 °C. Damit eröffnen sich für Entwickler neue Spielräume für flexible oder gebogene und geformte Bauteile.

Transparente Heizfolien: Wärme genau dort, wo sie gebraucht wird

Ein zentrales Einsatzfeld von für diese Strukturen sind transparente Folienheizungen. Auf Basis von Metal Mesh entstehen Flächenheizer mit Leistungsdichten von bis zu 3.000 W/m². Auf 3 mm starkem Glas lassen sich damit Heizraten von bis zu 0,4 K/s erzielen. Eine Temperaturerhöhung um 15 °K ist innerhalb von 38 Sekunden möglich, Spitzentemperaturen bis 100 °C auf Glas sind realisierbar. Entscheidend ist die direkte Wärmeübertragung auf das Bauteil. Anders als bei konventionellen Systemen aus Heizdraht und Lüfter wird nicht primär die Umgebungsluft erwärmt, sondern die Oberfläche selbst. Dadurch sinken Energieverluste deutlich. Der Energiebedarf liegt bei lediglich 25 bis 30 % konventioneller Heizmethoden.

Die Heizstruktur wird beispielsweise unmittelbar auf oder hinter das Bauteil aufgebracht, etwa auf ein Glas- oder ein Displayfenster. Die geringe Masse der Folie ermöglicht schnelle Reaktionszeiten, gleichzeitig ist eine unbegrenzte Anzahl von Schaltzyklen möglich, da keine

Autor:

Dipl.-Ing. Mathias Bunte
Business Development

Bopla Gehäuse Systeme GmbH
www.bopla.de

mechanisch bewegten Teile vorhanden sind. Typische Anwendungen sind das Verhindern von Beschlag und die Enteisung von Kamerafenstern, Lidar- oder Radarsensoren sowie die Temperaturstabilisierung empfindlicher Elektronik im Außenbereich oder Tiefkühlbereich. Besonders gefragt ist der Einsatz der Folien zum Heizen von Gehäusen in dauerhaft kalten Umgebungen ab $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ und darunter.

Transparente Antennen: Integration statt Anbau

Neben der Heizfunktion lassen sich auf Basis von Metal Mesh auch transparente Antennenstrukturen direkt in Glas- oder Kunststoffflächen integrieren, sodass separate Module oder sichtbare Leiterbahnen entfallen. Das spart Bauraum, reduziert Schnittstellen und vereinfacht die Montage. Dank hoher Leitfähigkeit und präziser Strukturierung sind Hochfrequenzanwendungen bis in den Gigahertz-Bereich möglich – von NFC sowie transparenten WiFi- und RFID-Antennen bis hin zu 5G- und perspektivisch auch 6G-Anwendungen. Auch passive Antennen und Reflektoren lassen sich realisieren.

Zu den weiteren Vorteilen zählen die hohe Flexibilität bei exzellenter Leitfähigkeit sowie die UV-Stabilität.

Beispiele aus der Praxis sind transparente Fensterantennen, die Mobilfunksignale trotz dämpfender Verglasung zuverlässig ins Gebäude übertragen, oder IoT- oder RFID-Antennen, die in Gehäuse-



Transparente Folienheizung: Metal Mesh bringen die Heizstruktur unmittelbar auf oder hinter das Bauteil © Bopla Gehäuse Systeme GmbH

fronten integriert werden, ohne das Design zu verändern. Geschützte Fertigungsprozesse gewährleisten dabei reproduzierbare Qualität und HF-Präzision.

Transparente Touch-Tasten: Klare Gestaltung, präzise Funktion

Metal-Mesh-Strukturen eignen sich ebenso für kapazitive Sensorelemente. Transparente Touch-Tasten, Slider- oder Matrix-Sensoren fügen sich nahtlos in Displays, Glas- oder Kunststoffoberflächen ein.

Je nach Anwendung kommen Metal-Mesh-Strukturen oder transparente Leitpasten zum Einsatz. Serielle Schnittstellen wie I²C, SPI, UART, USB ermöglichen eine einfache Systemanbindung. Moderne HMI profitieren mit dieser Lösung von klaren Flächen, reduzierter Mechanik und hoher Designfreiheit.

Transparente Schirmung: Unsichtbarer EMV-Schutz

Elektromagnetische Störungen beeinträchtigen die Funktion sensibler Elektronik. Transparente Metal-Mesh-Strukturen können auch als EMV-Schirmung dienen. Damit lassen sich Dämpfungen von bis zu 60 dB bei rund 80 % Transmission erreichen. Die leitfähige Struktur reflektiert und absorbiert elektromagnetische Wellen, ohne die Sichtfläche zu blockieren. Eingesetzt über Displays oder auch Fenstern oder Blenden und nahtlos integriert mit optisch transparenten Klebstoffen, schützt sie sensible Elektronik zuverlässig.

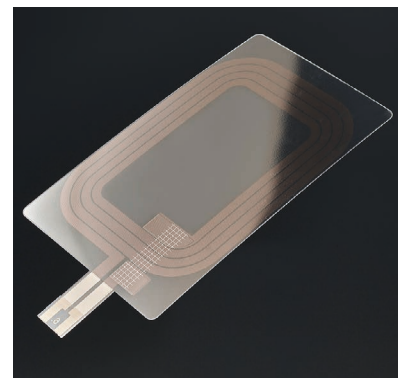
Heiz- und Antennenfunktion in einer Schicht

Besonders interessant für Anwender wird die Metal-Mesh-Technologie, wenn mehrere Funktionen kombiniert werden. Heiz- und Antennenstrukturen können auf demselben Substrat realisiert werden, ergänzend lässt sich die Fläche zur EMV-Schirmung nutzen. Eine transparente Oberfläche übernimmt dann gleichzeitig die Aufgaben Heizen, Signalübertragung und Schirmen. Eine Voraussetzung dafür ist die sorgfältige HF- und EMV-Planung: Heiz- und HF-Leitungen müssen getrennt geführt, Masseflächen definiert und Filterstrukturen berücksichtigt werden.

Geräteentwickler profitieren mit kombinierten Lösungen davon, dass sich die Zahl der Einzelkomponenten insgesamt reduziert. Bauraum, Gewicht und Montageaufwand sinken. Gleichzeitig bleibt die optische Transparenz beim Endprodukt erhalten.

Metal Mesh als Schlüsseltechnologie für transparente Funktionsintegration

Beim Einsatz von Metal-Mesh-Strukturen verschwindet die Funktion visuell, technisch gewinnt sie jedoch an Leistungsfähigkeit. Denn nicht das sichtbare Bauteil definiert die Funktion, sondern die nahezu unsichtbare Mikrostruktur im Inneren der Fläche. Metal-Mesh-Strukturen ermöglichen es, Heizen, Signalübertragung, Sensorik und Abschirmung in einer einzigen, nahezu unsichtbaren Schicht zu vereinen. Für Entwickler eröffnet das neue Freiheitsgrade in Funktionsintegration und Design. Für Anwender entstehen Produkte, die schlanker, energieeffizienter und ästhetisch klarer sind, ohne funktionale Kompromisse. So wird Metal Mesh zum unsichtbaren Leistungsträger moderner Elektronik.



Transparente Antenne: Hohe Leitfähigkeit, zuverlässige Übertragung der Signale – und dabei nahezu unsichtbar © Bopla Gehäuse Systeme GmbH

Wer schreibt:

BOPLA entwickelt und produziert seit mehr als 50 Jahren anwendungsspezifische Elektronikgehäuse aus Kunststoff und Aluminium sowie HMI-Lösungen auf Basis von Touchscreens und Folientastaturen. Ergänzend zum klassischen Portfolio treibt der Gehäusespezialist Innovationen in den Bereichen gedruckte und hybride Elektronik voran, die Funktionen wie Sensorik, Antennen oder Bedienelemente direkt in Bauteile integrieren. Die applikationsspezifischen Gehäuseanwendungen kommen unter anderem in der Mess-, Steuer- und Regeltechnik, im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Medizin- und Bahntechnik zum Einsatz. ◀



Transparente Touch-Taste: Nahtlos eingefügt in Displays, Glas- oder Kunststoffoberflächen – die Sensorik bleibt optisch unsichtbar © Bopla Gehäuse Systeme GmbH