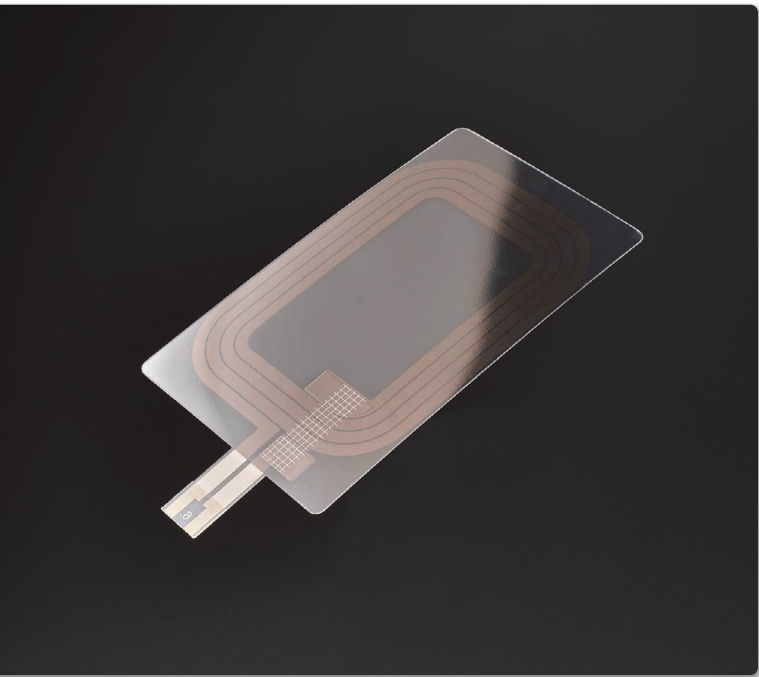


Metal-Mesh-Technologie für smarte Heiz-, Antennen- und Schirmlösungen

Transparente Funktionsfolien vereinen Wärme-, HF- und Schirmfunktion in einer Schicht.



Transparente Antenne

Transparente Funktionsfolien ermöglichen es, aktive elektronische Elemente wie Antennen, Heizfolien oder EMV-Schirmstrukturen direkt in Frontplatten, Displays oder Sensorfenster zu integrieren – ohne die optische Transparenz zu beeinträchtigen.

Eine Schlüsselrolle spielt die Metal-Mesh-Technologie: feine Metallgitter auf flexiblen Substraten kombinieren Leitfähig-

keit, Transparenz und Flexibilität und stellen eine leistungsfähige Alternative zu spröden Oxidschichten wie ITO (Indiumzinnoxid) dar.

Metal-Mesh als leitfähige Basis

Metal-Mesh-Strukturen bestehen aus ultrafeinen metallischen Leiterbahnen ($<5\text{ }\mu\text{m}$) auf Substraten wie PET, Polycarbonat oder Glas. Flächenwiderstände liegen bei $0,2\ldots12\text{ Ohm/sq}$ bei Transmissionen über 90%. Diese Eigenschaften bleiben auch nach 10.000 Biegezyklen stabil, sodass die Folien für gewölbte oder flexible Oberflächen geeignet sind. Die metallische Leitfähigkeit bietet Vorteile gegenüber ITO in Biegefestigkeit, Lebensdauer und thermischer Stabilität und eignet sich für transparente EMV-Schirmungen. Die Gitter entstehen durch präzise Druck- oder Ätzverfahren mit Silber, Kupfer oder Hybridlösungen mit Carbon-Nanotubes, wodurch niedrigere Widerstände und gleichmäßige elektrische Eigenschaften bei minimaler Schichtdicke erreicht werden. Die Folien erreichen Transmissionen von 80 bis 93% im sichtbaren Bereich und bleiben selbst bei direkter Hinterleuchtung unsichtbar.

Transparente Folienheizungen – Smart Heating

Transparente Heizfolien auf Metal-Mesh-Basis erzeugen durch Stromfluss Wärme und bleiben nahezu unsichtbar. Mit Leistungsdichten bis 3 kW/m^2 und Heizraten bis $0,5\text{ K/s}$ auf 3 mm Glas erreichen sie eine Erwärmung um 15 K in 30 s . Die geringe Masse der Folie ermöglicht schnelle Aufheizung, während das Glas durch seine höhere thermische Masse und spezifische Wärmekapazität als Wärmespeicher wirkt.

Durch die direkte Wärmeübertragung auf das Bauteil werden Energieverluste minimiert und die Effizienz gesteigert. PWM-Regelung oder Sensorrückkopplung sparen zusätzlich Energie und erhöhen die Lebensdauer auf über 1 Mio. Schaltzyklen. Typische Anwendungen sind Entfroston, Beschlagvermeidung, Temperaturstabilisierung von Kameras oder Sensoren sowie der Schutz empfindlicher Elektronik im Außenbereich.

Transparente Antennen auf Metal-Mesh-Basis

Metal Mesh ermöglicht auch transparente Antennen, welche sich nahezu unsichtbar in Ober-

Eigenschaft	Metal Mesh	ITO
Leitfähigkeit (Ohm/sq)	0,2...12	10...200
Transparenz (%)	Bis 93	80...90
Biegebarkeit	>10.000 Zyklen	spröde, bruchanfällig
Substratkompatibilität	flexibel (PET)	bevorzugt Glas, PET, PC
Herstellungsverfahren	Druck/Ätzung/ Laserstrukturierung	Sputtern
Temperaturverhalten	stabil bis ca. $120\text{ }^{\circ}\text{C}$	bis $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (substratabhängig)
Kosten und Skalierbarkeit	gut skalierbar, keine seltenden Erden	teurer Indiumanteil

Vergleich Metal Mesh vs. ITO

Autor:
Dipl. Ing. MBA
Sebastian Gepp
Head of Innovation
Bopla
Gehäuse Systeme GmbH
www.bopla.de

flächen integrieren lassen. Dank hoher Leitfähigkeit und präziser Strukturierung sind HF-Funktionen bis in den GHz-Bereich möglich. So werden WLAN, Bluetooth oder IoT direkt auf Frontplatten realisiert – ohne separate Module oder sichtbare Leiterbahnen.

Integration und Zukunftsperspektive

Besonders interessant wird es, wenn Heiz- und Antennenfunktion auf demselben Substrat realisiert werden. Metal-Mesh-Strukturen bieten hohe Leitfähigkeit gegenüber ITO und gleichzeitig hohe Transparenz für Antennen oder gezielte Schirmwirkung für EMV-Zwecke. Damit lassen sich WLAN- oder Bluetooth-Antennen direkt in transparente Flächen integrieren. Für Entwickler ergeben sich daraus neue Designoptionen, erfordern aber auch eine sorgfältige Planung der EMV-Entkopp-

lung. Heiz- und HF-Leitungen sollten getrennt geführt, gemeinsame Masseflächen definiert und Filterstrukturen eingeplant werden, um Störeinflüsse zu minimieren. Die direkte Wärmeübertragung auf das Bauteil erhöht die Effizienz. Besonders bei batteriebetriebenen Geräten ist die hohe Effizienz vorteilhaft: Der Energiebedarf liegt bei etwa 25 % herkömmlicher Heizmethoden. Da keine rotierenden Teile vorhanden sind, entfallen Vibration und Verschleiß.

Zukünftige Entwicklungen zielen auf Touch- und Sensorelemente, erweiterte Schirmfunktionen sowie 5G- und 6G-Bänder. So entstehen multifunktionale, transparente und robuste Oberflächen für intelligente Geräte und Systeme. Die Integration von Heiz- und Antennenfunktionen reduziert Baugröße, Gewicht und schafft neue Designfreiheiten.



Transparente Folienheizung

Fazit

Metal-Mesh-Technologie vereint Smart Heating, transparente Antennen und EMV-Schirmung in einer leitfähigen, flexiblen

und optisch klaren Struktur. Sie markiert einen wichtigen Schritt zu transparenten, energieeffizienten und vernetzten Elektroniklösungen der nächsten Generation. ◀