



1



2



3

- 1 Sensorbeschichtung auf Glassubstraten
- 2 PreciTurn 200 Drehteller-Beschichtungsanlage mit Reinraumschluss und Substratübergabestation (für Substrate bis  $\varnothing$  200 mm)
- 3 PreSensLine Inline-Beschichtungsanlage mit Reinraumschluss und Substratübergabestation (für Substrate bis  $\varnothing$  550 mm oder 650 mm x 750 mm, bis 120 mm Dicke)

## ELEKTRISCH ISOLIERENDE BESCHICHTUNGEN

### FÜR ANWENDUNGEN IN DER ELEKTRONIK, SENSORIK UND MEDIZINTECHNIK

#### Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP

Winterbergstr. 28  
01277 Dresden

Ansprechpartner

Dr. Stephan Barth  
Telefon +49 351 2586-379  
stephan.barth@fep.fraunhofer.de

Dr. Hagen Bartzsch  
Telefon +49 351 2586-390  
hagen.bartzsch@fep.fraunhofer.de

[www.fep.fraunhofer.de](http://www.fep.fraunhofer.de)

#### Abscheidung hochisolierender Schichten durch Magnetron-Sputtern

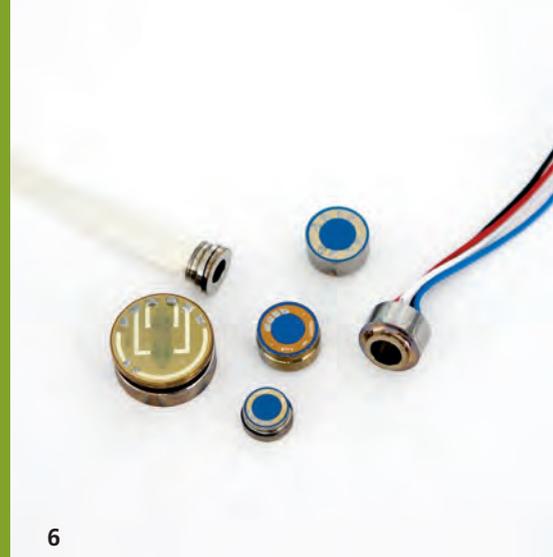
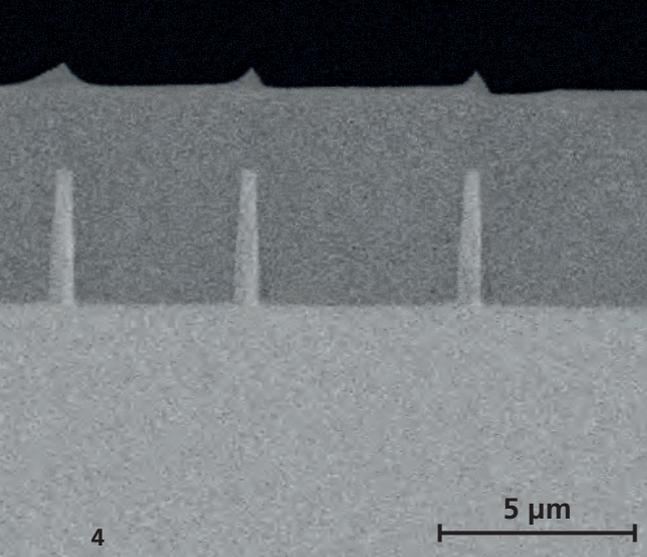
Einige Materialien, wie Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) und Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), weisen sehr gute elektrische Isolationseigenschaften mit hohem spezifischen Widerstand und hohen Spannungsfestigkeiten von einigen MV/cm (Megavolt pro Zentimeter) auf. Am Fraunhofer FEP haben wir reaktive Magnetron-Sputterverfahren entwickelt, um solche Isolationschichten mit hohen Beschichtungsraten von 2–4 nm/s abzuschneiden. Dies ermöglicht die ökonomische Schichtabscheidung Dickenbereich von wenigen hundert Nanometern bis zu mehreren (zehn) Mikrometern mit Durchbruchspannungen von mehr als 2000 V. Dies wurde auf unterschiedlichen Substraten nachgewiesen,

die von Siliziumwafern über gehärtete Stähle bis hin zu rauen Kupfersubstraten reichen (siehe Tabelle 1). Beim reaktiven Magnetron-Sputterprozess werden metallische Targets, wie Silizium oder Aluminium, in einem Argon-Reaktivgas-Gemisch verwendet. Das Fraunhofer FEP verfügt über verschiedene Beschichtungsanlagen, die mit zwei Arten von Magnetronquellen für die Beschichtung ausgestattet sind: dem Doppel-Ring-Magnetron (DRM 400) für die stationäre Beschichtung von Substraten bis  $\varnothing$  200 mm und dem Rechteck-Magnetron (RM 800) für die dynamische Beschichtung von größeren Substraten bis 650 mm x 750 mm. Die zu beschichtenden Substrate können flache oder 3D-Teile sein.

#### Realisierung komplexer Schichteigenschaften

Unsere Kompetenz umfasst die Prozessentwicklung und-optimierung für hochkomplexe Kundenanforderungen, die über sehr

gute elektrischen Isolationseigenschaften hinausreichen. Die Schichten können z. B. eine hohe Kratzfestigkeit und hohe Barriere-



eigenschaften aufweisen. Sie können in anspruchsvollen Umgebungen eingesetzt werden, z. B. in chemisch aggressiven Medien, bei hohen Temperaturen, unter mechanischer Belastung und im Kontakt mit Elektrolyten. Einige bereits realisierte komplexe Anforderungen sind:

- Hochisolierende und temperaturstabile Schichten für Drucksensoren auf Basis eines metallischen Sensorkörpers
- Hochisolierende Schichten auf 3D-Stahlbauteilen für integrierte Sensoren (z. B. zur Drehmomentmessung)

- Kombination von hoher elektrischer Isolation mit hoher Wärmeleitfähigkeit, z. B. mit dicken  $AlO_xN_y$ -Schichten
- High-k Dielektrika durch  $Ta_2O_5$ - oder  $HfO_2$ -Schichten
- Feuchtigkeitsbarriere mit sehr geringer Wasserdampfdurchlässigkeit (water vapor transmission rate, WVTR) auch bei geringen Schichtdicken von ca. 100 nm durch z. B.  $Al_2O_3$ ,  $AlSi_xO_y$ ,  $SiO_2$  oder  $Si_3N_4$  (z. B.  $Al_2O_3 \leq 2 \cdot 10^{-3} \text{ g/m}^2\text{d}$  bei 38 °C, 90 % relativer Luftfeuchtigkeit auf sauberer PET-Oberfläche)

## Elektrische Isolation auf strukturierten oder rauen Oberflächen

Die Umsetzung einer guten elektrischen Isolation von strukturierten Oberflächen oder rauen Substraten wird für viele Anwendungen immer wichtiger. Das Fraunhofer FEP hat Verfahren entwickelt, um die Bedeckung der Oberfläche mit Schichten auf diesen Substraten zu verbessern, da nur teilweise beschichtete Strukturbauteile zu stark reduzierten Isolationseigenschaften führen können. Besonders in feuchten oder wässrigen Umgebungen sind die Herausforderungen groß, denn in kleine Risse und Poren kann Feuchtigkeit eindringen,

was wiederum leitfähige Pfade erzeugen kann, die die Leistung negativ beeinflussen oder sogar die Isolationseigenschaften zerstören können. Um dies zu verhindern, ermöglicht eine vom Fraunhofer FEP entwickelte Technologie, Isolationsschichten so abzuscheiden, dass sie Schritt für Schritt mit einer oder mehreren Glättungsschichten die Rillen und strukturierten Bereiche, die verfüllt werden müssen, ausfüllen. Dies kann bis zu einem Aspektverhältnis von ca. 1:1 erfolgen, wie für die in Bild 4 dargestellte strukturierte Oberfläche gezeigt.

## Unser Angebot

Vollständige Projektkette von Machbarkeitsstudien und Technologieentwicklung bis hin zum Transfer von Hardware und Technologie zum Kunden:

- FuE von Prozessen und Materialien sowie Beschichtungen für die elektrische Isolation oder andere Anwendungsbereiche
- Entwicklung von anwendungsspezifischen

Schichten und Schichtsystemen auf Flach- und 3D-Substraten, einschließlich eines angepassten Stressmanagements in Schichten und Schichtsystemen

- Entwicklung und Lieferung von Hardware und Technologie, z. B. DRM- und RM-Quellen für industrielle Beschichtungsanlagen

| Substrat          | Beschichtungsmaterial | Schichtdicke [µm] | Durchbruchspannung [kV] |
|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Si-Wafer          | $AlSi_xO_y$           | 1                 | 0,6                     |
|                   | $Al_2O_3$             | 5                 | > 2,0                   |
|                   | $AlSi_xO_y$           | 5                 | > 2,0                   |
| Sensor-körper     | $Al_2O_3$             | 5                 | 0,8                     |
|                   | $AlSi_xO_y$           | 5                 | 1,2                     |
|                   | $AlSi_xO_y$           | 10                | 2,0                     |
|                   | $AlO_xN_y$            | 10                | 2,0                     |
| Cu submount (rau) | $AlO_xN_y$            | 10                | 1,9                     |

Tab. 1: Durchbruchspannung von  $Al_2O_3$ ,  $AlO_xN_y$  und  $AlSi_xO_y$  auf verschiedenen Substraten in Abhängigkeit von der Schichtdicke

| Material  | Spezifischer Widerstand [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ] | Spannungsfestigkeit [MV/cm] | Beschichtungsrate [nm/s] |
|-----------|--|-----------------------------|--------------------------|
| $Al_2O_3$ | $1 \cdot 10^{15}$                                    | 4,1                         | 2,5                      |
| $SiO_2$   | $9 \cdot 10^{15}$                                    | 6,2                         | 4                        |
| $AlSiO_x$ | $2 \cdot 10^{15}$                                    | 5,4                         | 3                        |
| $Si_3N_4$ | $1 \cdot 10^{14}$                                    | 3,0                         | 2                        |
| $Ta_2O_5$ | $2 \cdot 10^{14}$                                    | 3,7                         | 2,5                      |

Tab. 2: Übersicht über die Isolationseigenschaften verschiedener gesputterter Schichten gemessen bei einer Schichtdicke von 1 µm auf Siliziumwafern

- 4 REM-Bild des Glättungseffekts von 5 µm  $SiO_2$  auf strukturierter Si-Wafer mit Strukturhöhe 3 µm
- 5 Rechteck-Magnetron RM 800
- 6 Elektrisch isolierende Schichtsysteme für Drucksensoren



Wir setzen auf Qualität und die ISO 9001.