

Oxidation metallischer Nanofilme für single-use Vakuumsensorik

Sebastian Mäder

*Lehrstuhl für Werkstoffe und Nanoelektronik,
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik,
Ruhr-Universität Bochum*

Vakuumisolationspaneele (VIP) weisen eine etwa zehnmal kleinere Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen auf. Ihnen liegt das Prinzip der Thermoskanne zugrunde, wobei das aus pyrogener Kieselsäure bestehende Kernmaterial der VIP's mit einer Barrierefolie umhüllt und anschließend evakuiert wird. Durch die Verringerung des Innendrucks und damit der Teilchenanzahl des Gases wird die Gaswärmeleitfähigkeit nahezu komplett unterbunden, wodurch üblicherweise Wärmeleitfähigkeiten von 2 bis 8 mW/m·K erreicht werden. Bedingt durch ihren Aufbau, genauer durch die Verwendung von Polymerfolien zur Aufrechterhaltung des Vakuums, sind VIP's empfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung. Tritt eine Leckage auf, so steigt der Druck im Inneren an und die Wärmeleitfähigkeit erhöht sich um etwa 27 mW/m·K.

Da die derzeit verwendeten Überprüfungsverfahren meist zeit- und damit kostenintensiv sind, wird auf eine 100%ige Kontrolle der produzierten VIP's verzichtet. Zudem gibt es nach dem Versand der VIP zu ihren Einsatzort nahezu keine Möglichkeit die Qualität der Paneele zu kontrollieren.

Daher wird ein Sensorconcept für die Überwachung der Vakuumqualität benötigt, welches im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt wird. Die Funktionsweise beruht auf der Oxidation metallischer Nanofilme, wodurch resistiv arbeitende und kostengünstig herzustellende Sensoren erzeugt werden. Die resistive Arbeitsweise gestattet eine einfache Anbindung der Sensoren an eine Fernabfrageelektronik die z.B. auf RFID-Technik beruhen kann, wodurch eine 100%ige Kontrolle der VIP's auch nach ihrer Integration am Einsatzort ermöglicht wird.

Da funktionsgemäß die Oxidation metallischer Filme zur Verringerung der elektrisch leitfähigen Querschnittsfläche führt, kann die Kinetik durch die sich einstellende Widerstandserhöhung aufgezeichnet werden.

Aufgrund der geringen thermischen Energie die bei der Reaktion des Sensors bei Raumtemperatur zur Verfügung steht, kann die Oxidation nicht durch die von einem Konzentrationsgradient getriebene Diffusion erklärt werden. Vielmehr muss das zwischen chemisorbierten Sauerstoff und Metallionen wirkende elektrische Feld mit berücksichtigt werden, welches die Energiebarrieren senkt und damit die Diffusion der Reaktanten auf Zwischengitterplätzen ermöglicht.

Zur Untersuchung der Anwendbarkeit der natürlichen Oxidation für die Vakuumsensorik wurden durch thermisches Verdampfen von Aluminium, Magnesium und Kupfer leitfähige metallische Nanofilme auf Polymersubstraten hergestellt. Diese wurden hinsichtlich des Zusammenhangs der Widerstandsänderung vom vorherrschenden Druck untersucht, da eine Korrelation zwischen Druck und gebildeter Oxidschichtdicke für die Überwachung der Vakuumqualität von VIP's notwendig ist. Bei den Untersuchungen konnte für den in VIP's relevanten Druckbereich zwischen 1 und 10 mbar die Anwendbarkeit von Aluminium und Kupfer als sauerstoffempfindliche Materialien nachgewiesen werden. Da die Sensoren prinzipbedingt nur einmalig auf eine Druckerhöhung reagieren können, ist ihre Integration in die VIP's herausfordernd. Zur Lösung dieser Integrationsproblematik wurde die Eignung einer Mehrlagenstruktur untersucht, die zusätzlich zur sensitiven eine passivierende Schicht auf der Oberseite aufweist. Da die Oxidation zunächst nur an der schützenden Deckschicht erfolgt, konnte ein Zeitfenster für den Einbau der Sensoren unter atmosphärischen Bedingungen ermöglicht werden.