

Nanostrukturierter Photoelektronenemitter auf LaB_6 -Basis für atmosphärische Ionisations-Gassensorik

Cordula M. Zimmer

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

Für die Vor-Ort-Detektion von gefährlichen gasförmigen Substanzen wird immer häufiger ein mobiler Photoionisationsdetektor (PID) verwendet. Dieser arbeitet mit einer hochenergetischen Photonenquelle, welche Gefahrenstoffe mit einem Ionisationspotential von bis zu 10,6 eV ionisieren kann. Da jedoch der Verschleiß der Lichtquelle durch UV-C-Strahlungsschäden mit der Betriebsdauer der PID zunimmt, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Modifizierung der PID mit einer niederenergetischen UV-LED vorgestellt. Die UV-LED, welche maximal über eine Photonenenergie von 4 eV verfügt, kann jedoch keine Ionisation der Substanzen durchführen, so dass diese von photogenerierten Elektronen übernommen wird. Für die Gewährleistung des photoelektrischen Effekts wird nur ein Photokathodenmaterial benötigt, dessen Austrittsarbeit geringer als die eingestrahlte Energie der Leuchtdiode ist. Die dabei emittierten Elektronen werden anschließend über eine kurze Strecke auf Energien oberhalb des Ionisationspotentials einströmender Gase beschleunigt, um diese zu ionisieren.

Der Photoelektronenemitter mit integrierter Beschleunigungsstrecke wird dabei unter Verwendung technologischer Herstellungsprozesse realisiert und auf seine mechanische Stabilität untersucht. Dabei zeigt aufschleuderbares Glas (Spin-on glass) als isolierendes Material zwischen der Photokathode und Beschleunigungselektrode die besten Ergebnisse hinsichtlich Durchbruchfestigkeit und reproduzierbarer Strukturierung mittels trockenchemischer Ätzung. Als Elektronen-Emittierende Schicht wird ein 50 nm dünner Lanthanhexaborid (LaB_6) Film eingesetzt, welcher mittels Laserstrahlverdampfungstechnik (PLD) auf ein kristallines Siliziumsubstrat abgeschieden wurde. Eine besondere Herausforderung stellte dabei das epitaktische Wachstum der Schicht dar. Die Charakterisierung der Photokathode in Bezug auf Kristallstruktur, Stöchiometrie und Austrittsarbeit erfolgte sowohl mit einer Röntgenstrukturanalyse (XRD), einer Rutherford-Rückstreu-Spektrometrie (RBS) als auch mit einer UPS. Dabei konnten sauerstoffverunreinigte LaB_3O_3 bzw. LaBO_3 Schichten festgestellt werden, welche über äußerst niedrige Austrittsarbeiten im Bereich von 3,05 bis 3,21 eV verfügen, wodurch auch bei Einstrahlung herkömmlicher UV-LEDs Photoelektronen emittiert werden können.

Letztlich wird das Ionisationsverhalten der modifizierten PID untersucht, indem dampfförmige Substanzen verschiedener Ionisationspotentiale zugeführt und diese mit Photoelektronen und nicht, wie üblich, mit Photonen ionisiert werden. Die Ausbeute an emittierten Photoelektronen wird dabei durch die Strahlleistung der LED bestimmt, welche jedoch für den Ionisationsprozess ausreichend ist. Auch Substanzen mit einem höheren Ionisationspotential als 10,6 eV, wie Chloroform (CHCl_3), können ohne zusätzliche Fragmentierprozesse durch die modifizierte PID ionisiert werden, da Photoelektronenenergien von bis zu 25 eV erreichbar sind.

Der vorgestellte modifizierte Photoionisationsdetektor weist Vorteile gegenüber dem bestehenden System auf, da er zum einen durch die Verwendung einer niederenergetischen UV-LED den Alterungsprozess unterbindet und zum anderen auch gasförmige Substanzen mit einem Ionisationspotential oberhalb von 10,6 eV detektieren kann.