

Vakuumprozesse zur Herstellung von Absorberbeschichtungen

P. Gantenbein¹, S. Brunold, U. Frei

SPF Solartechnik Prüfung Forschung, HSR Rapperswil, Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil

Solar Absorber werden in Zukunft vermehrt in Vakuumverfahren beschichtet. Dies kann in einem sogenannten PVD-Prozess (PVD=Physical Vapor Deposition) wie reaktive Verdampfung oder einem reaktiven Sputterprozess statt finden. In einem Vakuumprozess aus Sputtern und chemischer Gasphasendeposition werden PVD und CVD kombiniert (CVD=Chemical Vapor Deposition). Mit diesen Methoden können dünne Schichten auf der Basis von oxidischen, nitridischen oder karbidischen Werkstoffen auf Kupfer als Substrat (Coils) deponiert werden. Die Kombination Schicht und Substrat bildet den solar selektiven Absorber.

Beschichtungen aus einem Vakuumprozess

Ist für die Beschichtung des Absorbers die Materialwahl getroffen, dann muss ein geeignetes Herstellungsverfahren evaluiert werden. Prozesse zur Schichtherstellung die im Vakuum arbeiten, eröffnen die Möglichkeit bei gleichbleibender hoher Qualität fast ohne Rückstände zu produzieren. So werden vermehrt PVD oder eine Kombination von PVD und CVD in der Beschichtung von Solarabsorbern eingesetzt. Im Falle des kombinierten Prozesses werden in einen Vakuumbehälter zwei Elektroden eingebaut, wovon eine die mit einem Netzgerät (dc, rf) getriebene und die andere die das Substrat tragende Elektrode bildet. Im Bild 1 ist die getriebene Elektrode ein Magnetron, welches das Target trägt. Der Substrathalter ist heizbar und kann mit einem zweiten Netzgerät auf ein bestimmtes elektrisches Potential gelegt werden. Die die Schicht aufbauenden Materialien (precursor) werden als Feststoffe (Target) und/oder als Gase (Ne, Ar, O₂, N₂, CH₄, C₂H₂, usw.) in den Prozess eingebracht. Solche neuen im Vakuum arbeitenden Verfahren können galvanische Prozesse ablösen.

Plasma als Teilchenquelle und Katalysator

Das über dem Target gezündete Plasma dient als Teilchenquelle für den Sputterprozess. Dabei werden Ionen auf die Targetoberfläche hin beschleunigt und schlagen dort beim Auftreffen Atome aus ("Sandstrahlen" mit Ionen). Sind Schichten gewünscht, die aus dem reinen Targetmaterial bestehen, dann verwendet man Inertgase wie Neon oder Argon zum Sputtern. Die vom Target in das Plasma transportierten Teilchen werden dann auf dem Substrat niedergeschlagen und bilden so die wachsende Schicht. Oxidische, nitridische oder karbidische Schichten werden in einem reaktiven Prozess hergestellt. Zum Inertgas wird ein zusätzliches, reaktives Prozessgas in die Vakuumanlage geleitet. Das Reaktivgas wird im Prozess aufgebraucht und trägt zum Schichtaufbau bei. Im

Gegensatz zu den Reaktivgasen, sind die nicht reaktiven Inertgase in der Schicht i. a. nicht erwünscht. Sie werden jedoch zu einem geringen Mass in die Schichten eingebaut. Durch den Einsatz eines Plasmas lassen sich auch Werkstoffe bei relativ tiefen Temperaturen im Bereich von 100° bis 300° C synthetisieren, die sonst erst bei Temperaturen über 1000 °C entstehen. Zur Überwindung der für die chemischen Reaktionen charakteristischen Aktivierungsenergien E_A , wirkt das Plasma als Katalysator. Die im Plasma entstehenden angeregten Atome und Moleküle, Radikale und Ionen haben energetisch ein höheres Niveau als die Ausgangsgase. Die zum Ablauf der Reaktion notwendige restliche Energie kann mit einer geringeren Substrattemperatur zugeführt werden. Plasmaprozesse werden daher i. a. auch als Tieftemperaturprozesse bezeichnet.

Herstellungsparameter

In allen Prozessen ist es das Ziel der Schichtentwicklung, den Einfluss der Herstellungsparameter auf die Morphologie und die daraus resultierenden Schichteigenschaften zu ermitteln. So wird es möglich die Schichteigenschaften den Anforderungen anzupassen und bei Störungen über einen Regelkreis die notwendige Herstellungsgrösse zu verändern. Die Wirkung der variablen Herstellungsparameter, wie z. B. mittlere Energiedichte, Prozessdruck, Partialdrücke, Substrattemperatur und geometrische Bauform der Reaktionzonen, auf die Schichtgrössen wie Brechungsindex n und Absorptionskoeffizient k , erfolgt in einem Plasmaprozess über die Plasmaparameter. Die wichtigsten sind das Plasmapotential (PPOT) sowie die Verteilungsfunktionen der Ionenergie (IEDF) und der Elektronenergie (EEDF). Die optischen Konstanten n und k ergeben in Kombination mit dem Substrat die Absorption α und Emission ϵ des Absorbers. Die Schicht "entspiegelt" den z. B. aus Kupfer bestehenden Infrarotreflektor im sichtbaren

¹ Tel.: ++41 (0)55 222 48 11;
e-mail: paul.gantenbein@solarenergy.ch

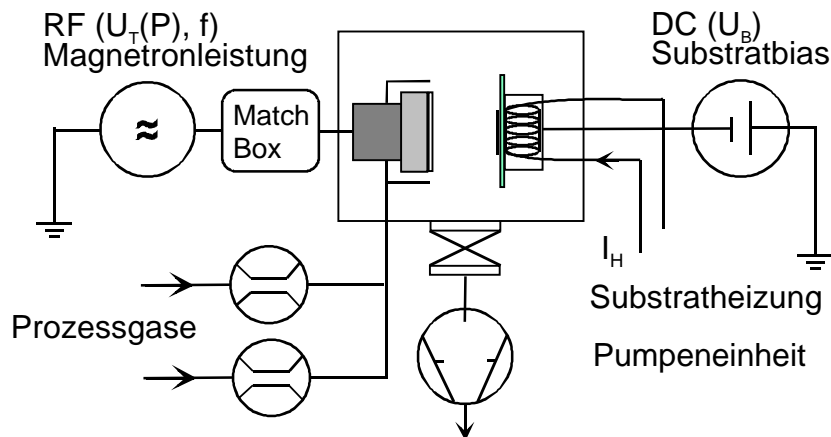


Bild 1: Eine Beschichtungsmethode die im Vakuum arbeitet, wie sie am IfP der Universität Basel zur Schichtentwicklung eingesetzt wird. Schematische Darstellung eines Prozesses mit Magnetron Sputtern eines Metalltargets und CVD eines Prozessgases aus Kohlenwasserstoffen zur Herstellung von Absorberbeschichtungen. Das entstehende Schichtmaterial ist ein Cermet aus amorphen, metallhaltigen Kohlenwasserstoffen, a-C:H/Me.

Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums.

Schichtcharakterisierung

Die Entwicklung eines Schichtsystems für einen Absorber wird mit den notwendigen und hinreichenden Charakterisierungsmethoden durchgeführt. Aber auch die Qualitätskontrolle muss über die Schichtcharakterisierung gemacht werden. So ist die Messung der Stöchiometrie mit verschiedenen Methoden wie Photoelektronenspektroskopie (XPS, AES)

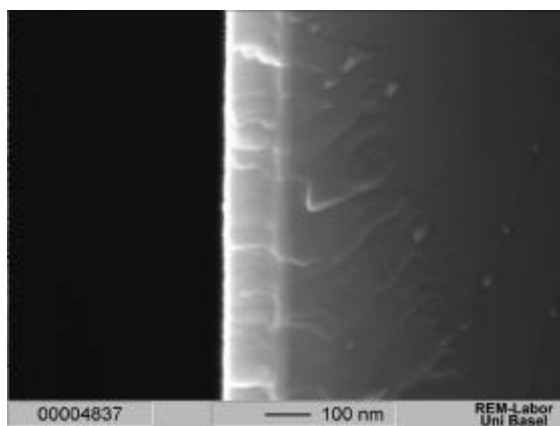


Bild 2: Rasterelektronen-Mikroskopie an der Bruchkante einer Mehrschicht aus amorphen, metallhaltigen Kohlenwasserstoffen auf Silizium (REM-Labor Universität Basel).

oder Röntgenfluoreszenz (XRF) sowie evtl. zur Eichung der vorgenannten Messungen mit Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) wichtig. Die Schicht- und Oberflächenmorpho-

logie, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften der Schichten haben, werden mit Röntgenbeugung (XRD) und mit den Rastermethoden Elektronenmikroskopie (REM), Tunnelmikroskopie (STM) oder Kraftmikroskopie (AFM) bestimmt. In Bild 2 ist die Bruchkante einer solar selektiven a-C:H/Cr-Mehrschicht auf einem Siliziumsubstrat zu sehen. Das Siliziumsubstrat dient bei der Schichtentwicklung als Referenz für verschiedene Charakterisierungsmethoden. Mit optischen Reflexions- und Transmissionsmessungen lassen sich die optischen Konstanten n und k bestimmen. Über die Schichtdicken, welche mit einem α -Step einem REM (Bild 2) oder mit einem AFM gemessen werden, sind die den Absorber charakterisierenden Parameter Absorption α und Emission ϵ einstellbar.

Bandbeschichtungsanlagen

Für die wirtschaftliche Beschichtung von Kupferbändern (Coils) als Substrate für den Solarabsorber können modular aufgebaute Bandbeschichtungsanlagen eingesetzt werden. Das Band wird von einem Coil abgewickelt, durch die Beschichtungsbereiche transportiert und nach Verlassen der Behandlungszonen wieder auf ein Coil aufgewickelt. Mit optischen in-situ Kontrollen ausgerüstete Stationen garantieren eine reproduzierbare, hohe Qualität.

Referenzen

[1] Haefer René A., Oberflächen- und Dünnschicht-Technologie, Reihe: WFT Werkstoff-Forschung und -Technik 5, Springer-Verlag.