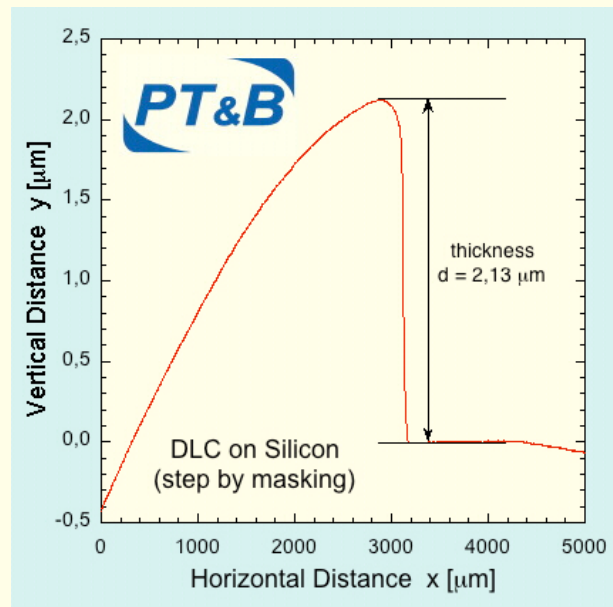


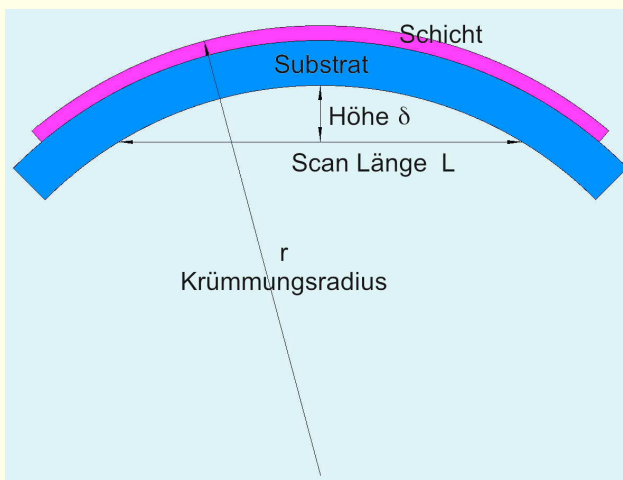
Als Probekörper für die Profilometrie werden Substrate aus kristallinem Silicium der kristallografischen Orientierung (111) verwendet. Diese haben die Vorteile einer sehr geringen Eigenrauheit von unter einem Nanometer sowie sehr genau definierte Abmaße und mechanische Eigenschaften. Werden beim Beschichtungsprozess mithilfe von Masken aus Edelstahl scharfe Übergänge zwischen dem unbeschichteten Substrat und der Schicht (Stufen) erzeugt, so gestattet die Profilometrie ein direktes Ablesen der Schichtdicke wie in der rechten Abbildung dargestellt. Der starke Abfall des Profils zur linken Seite ist dabei kein Effekt der Schichtdicke sondern wird von der Verbiegung des Substrates verursacht.



Mechanische Profilometrie - Messtechnik und Qualitätssicherung Dicke, Rauheit und Eigenspannung von dünnen Schichten

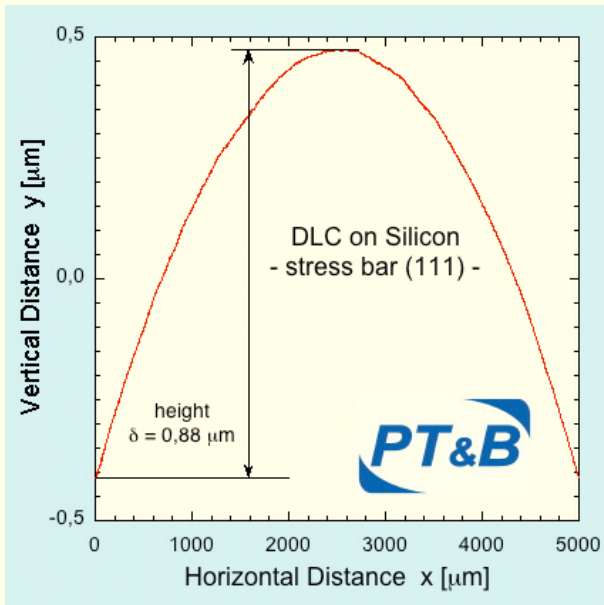
Mit einem mechanischen Profilometer (Tastschnittinstrument oder Talystep-Instrument, Typ Tencor) wird die Oberfläche der Schichten im Stylus-Verfahren vermessen. Das Messprinzip beruht auf der elektromechanisch verursachten Bewegung des Probentellers mit Probe unterhalb einer Diamantspitze, welche mit einer typischen Kraft von einigen mN beaufschlagt wird. Der Präzisionsprobenteller bewegt sich während der Messung mit einer definierten Geschwindigkeit und Wegstrecke. Dabei werden die Änderungen der Oberflächentopographie durch die Diamantspitze erfasst, in eine Vertikalbewegung gewandelt und ausgegeben. Das Verfahren gestattet eine Höhengauflösung bis in den Bereich von Zehntel Nanometern.

Nachfolgend werden die verwendeten Messmethoden Dicke, Eigenspannung und Rauheit am Beispiel von DLC-Schichten mit ihren besonders anspruchsvollen Eigenschaften erläutert.



Dünne Schichten weisen aufgrund ihrer Nanostruktur mechanische Eigenspannungen auf. Ein starker Ionenbeschuss während des Wachstums führt zu hohen Druckeigenspannungen („compressive stress“). Die gewachsene Schicht tendiert daher zur Ausdehnung. Durch den festen Verbund mit der Unterlage (Substrat) wird dies aber verhindert und es kommt zur Verbiegung des Systems Schicht-Substrat ähnlich einem Bimetallstreifen.

Die Berechnung der Schichteigenspannung erfolgt mit Profilometer an Siliciumstreifen (111) der Dimension 5mm x 25mm x 0,38mm (stress bar), wobei die Durchbiegung δ über die Länge L vermessen wird.



Profilometrischer Scan (Höhe y über Länge x) einer DLC Schicht auf einem Silicium Substrat (stress bar). Die Auswahl von Silicium der kristallografischen Orientierung (111) erfolgt wegen der definierten mechanischen Eigenschaften dieses Substrates sowie seiner sehr geringen Eigenrauheit. Die hier gezeigte DLC Schicht stammt aus dem Produktionsprozess eines STARON 9090 Reaktors

Die mechanische Eigenspannung (Druckspannung) der DLC Schicht bewirkt eine parabelförmige Verbiegung des Substrates. Mithilfe der ausgemessenen Parabelhöhe δ lässt sich der Krümmungsradius r im Zentrum der Parabel bestimmen und die Eigenspannung der Schicht berechnen.

Die Berechnung der Schichteigenspannung erfolgt mithilfe der STONEY – Gleichung:

$$\sigma = \frac{E_{\text{Substrat}}}{1 - \nu_{\text{Substrat}}} \frac{d_{\text{Substrat}}^2}{6 r d_{\text{Schicht}}}$$

E_{Substrat} , ν_{Substrat} , d_{Substrat} : *Elastizitätsmodul, Poissonzahl und Dicke Substrat*

$$\text{Krümmungsradius } r = \frac{L^2}{8 \delta}, \quad \frac{E_{\text{Substrat}}}{1 - \nu_{\text{Substrat}}} = 195 \text{ GPa (Biaxialmodul Si (111))}$$

SILCOR® DLC Beschichtungen weisen typische Eigenspannungen von 0,5 bis 1,5 GPa auf, wobei härtere Schichten zumeist höhere Spannungen besitzen. Die Zugabe von z. B. Silicium zum DLC führt zur Verminderung der Eigenspannung. SILCOR® Chromnitrid (CrN) Schichten weisen im Gegensatz zum DLC keine signifikanten Eigenspannungen auf.

Aufgrund der hohen Rauheit von typischen Beschichtungsgütern ist die Bestimmung der Eigenrauheit von DLC Beschichtungen an diesen Oberflächen nicht möglich. An Probekörpern aus kristallinem Silicium muss gegebenenfalls die Substratkrümmung Berücksichtigung finden, damit überhaupt eine Rauheit bestimmt werden kann. Durch Abzug des parabelförmigen Untergrunds vom oben abgebildeten profilometrischen Scan erhält man das nebenstehende Oberflächenprofil der DLC Beschichtung. Für die 2,1 µm dicke DLC Schicht aus einem laufendem Produktionsprozess beträgt die Min-Max Differenz 18,1 nm und die RMS-Rauheit 8,9 nm.

