


Nanoskalige Hochleistungsschutzschichten zum Surface Engineering von Zerspan- und Umformwerkzeugen


S. Ulrich, K. Krüger, K. Seemann, H. Leiste, M. Stüber

Institut für Angewandte Materialien - Angewandte Werkstoffphysik (IAM - AWP)

Gliederung

- Einleitung und Motivation
- TiN/ZrN-Viellagen-Verschleißschutzschichten
- Cr/CrN/B₂C-Mehrlagen-Verschleißschutzschichten
- TiN/FeCoHfN-Viellagen-Verschleißschutzschichten mit integrierter Sensorfunktionalität
- Zusammenfassung

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft www.kit.edu



Einleitung und Motivation: Konzeption von Viellagenschichten

Einstellbare Parameter:

- Materialauswahl
- Gesamtschichtdicke
- Doppellagendicke
- Interface-Volumen
- Interface-Konstitution
- Kristallitgröße
- Textur
- Periodische Eigenspannungsfelder

Vorteile von Viellagenschichten

- Das Interface kann das Kristallwachstum unterbrechen: Rissverzweigung (+), Zähigkeitsbeitrag (+), Eigenspannung (+)
- Rissablenkung am Interface,
- Nano-Delaminationen am Interface: Eigenspannungen (+), Rissausbreitung (+)
- Verbesserung des Verschleißverhaltens
- Integrierte Sensorfunktionalität

2 IAM – AWP



TiN/ZrN-Viellagen-Verschleißschutzschichten

3 IAM – AWP




Herstellung von TiN/ZrN-Viellagen-Verschleißschutzschichten

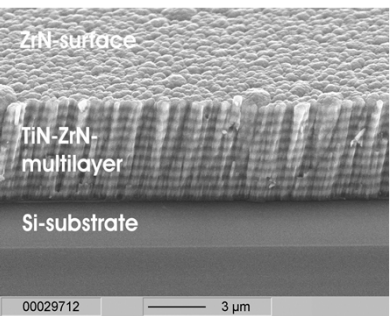
- Reaktives d.c. Magnetronzerstäuben
- Ti-Target (6 kW), Zr-Target (4 kW)
- Ar : N₂ = 200 sccm : 56 sccm
- 200 °C Substrattemperatur
- ~ 60 V Substratbias
- Substrates: Si, Hartmetall, HSS-Sägeblätter



4 IAM – AWP




Konstitution – REM



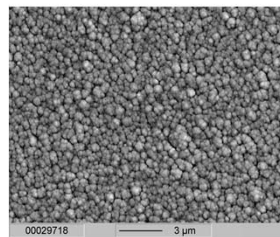
00029712 3 µm

5 IAM – AWP



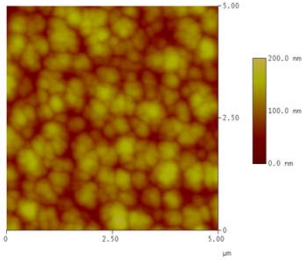
Oberflächentopologie

REM



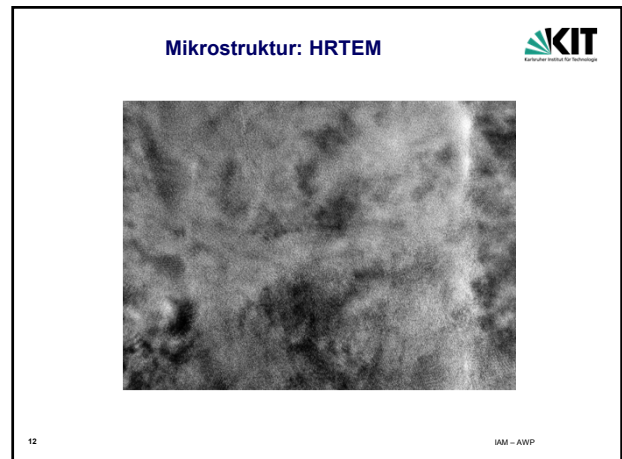
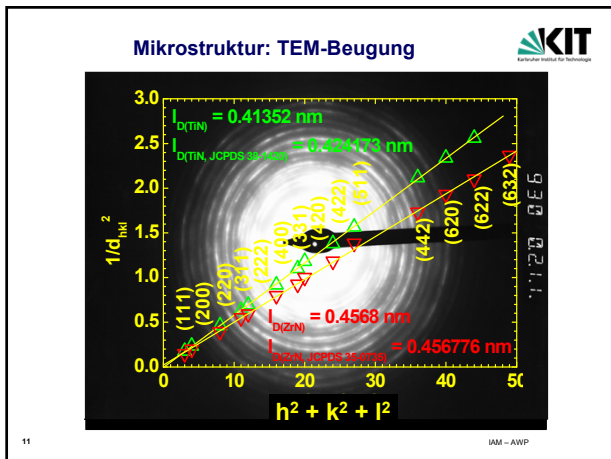
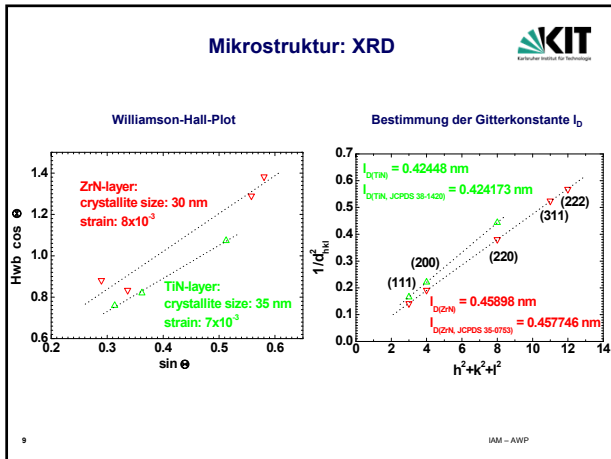
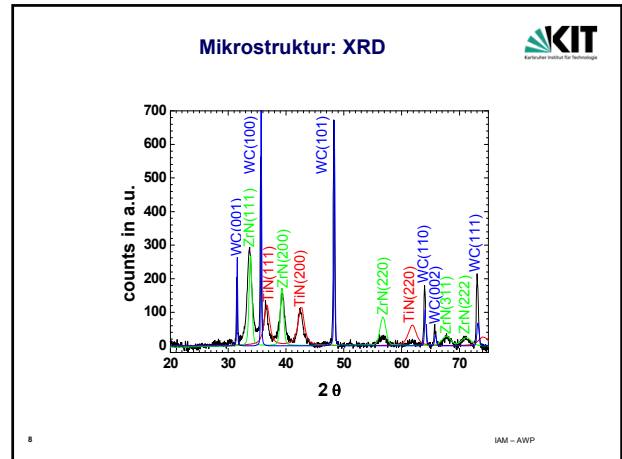
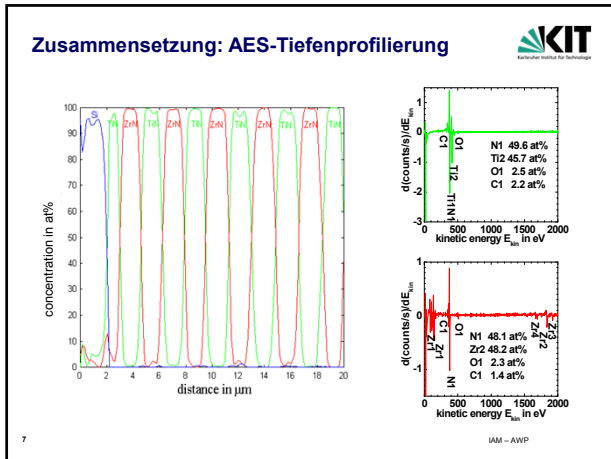
00029718 3 µm

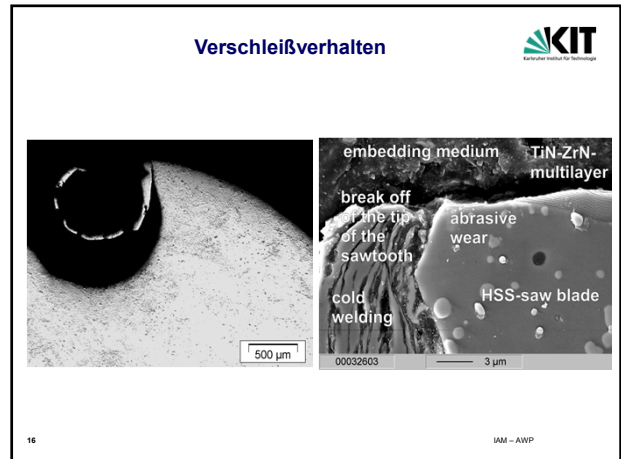
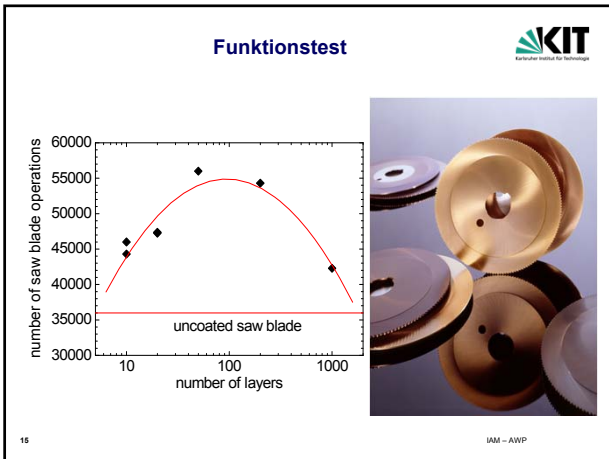
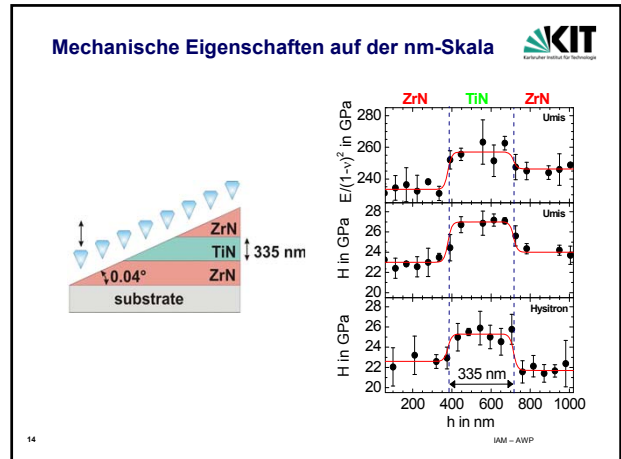
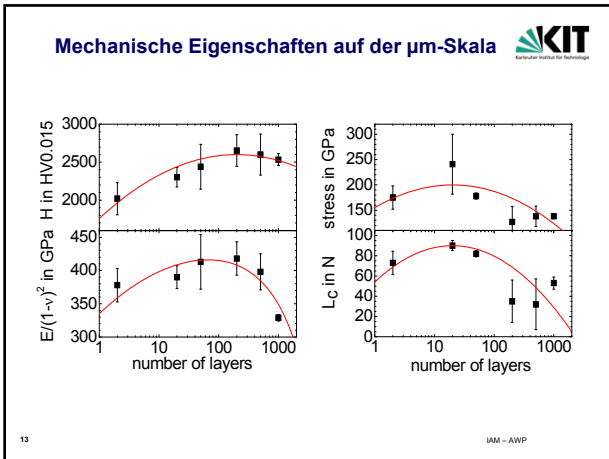
AFM



5,00
200,0 nm
100,0 nm
0,0 nm

6 IAM – AWP

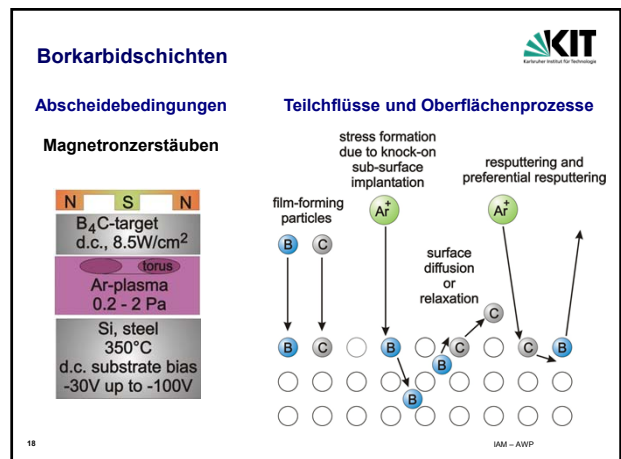


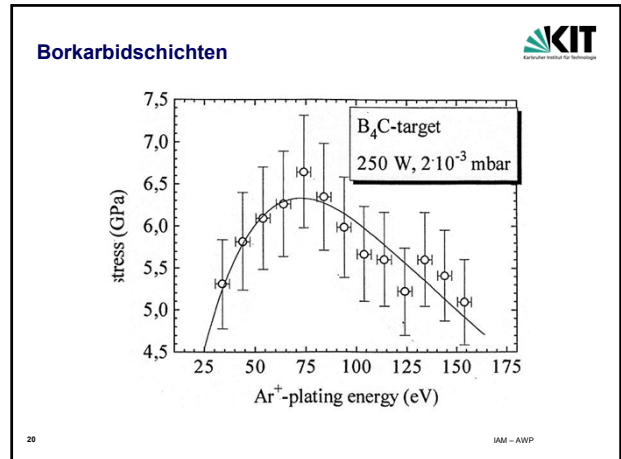
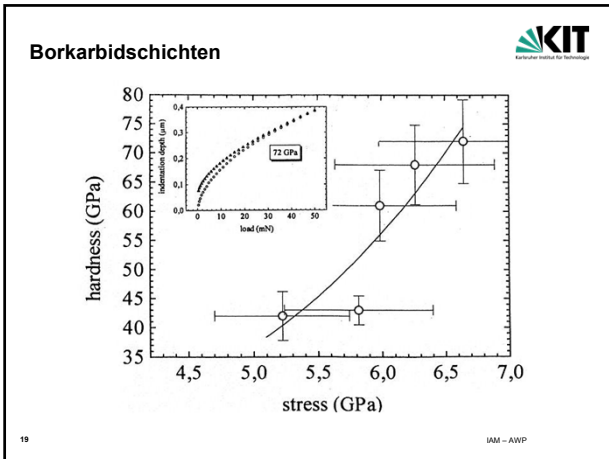


Cr/CrN/B₄C-Mehrlagen-Verschleißschutzschichten



17 IAM - AWP



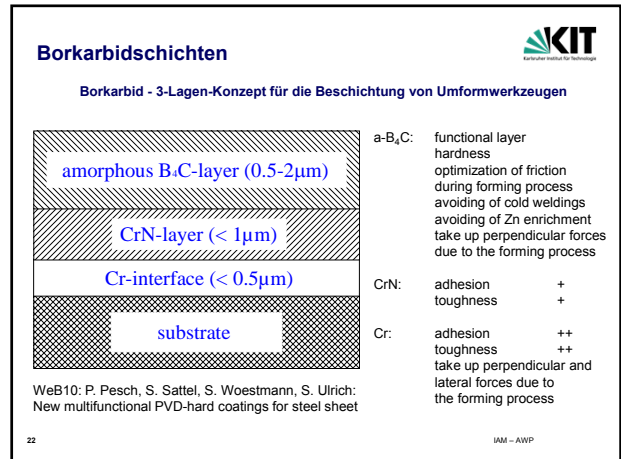


Borkarbidsschichten

$$\sigma = \frac{15.1 \text{ GPa} \cdot 0.014 \frac{1}{\sqrt{eV}} \sqrt{E_{Ar^+}}}{\frac{\phi_B + \phi_C}{\phi_{Ar^+}} - 0.014 \frac{1}{\sqrt{eV}} \sqrt{E_{Ar^+}} + 0.016 \cdot 0.013 \left(\frac{E_{Ar^+}}{E_0}\right)^{5.3}}$$

$$\frac{\phi_{Ar^+}}{\phi_B + \phi_C} = 3.5$$

21 IAM - AWP

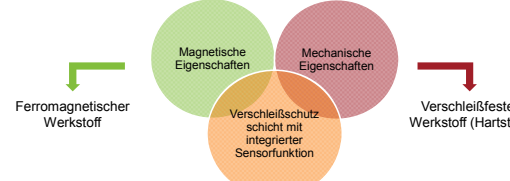


TiN/FeCoHfN-Viellagen-Verschleißschutzschichten mit integrierter Sensorfunktionalität

24 IAM - AWP

Viellagen-Verschleißschutzschichten mit integrierter Sensorfunktionalität

Motivation: Verschleißschutzschicht mit integrierter Sensorfunktion zur berührungslosen Erfassung von Schichteigenschaftsänderung (mechanische Spannung, Temperatur, Materialabtrag)



Ferromagnetischer Werkstoff

- Magnetische Eigenschaften

Verschleißschutzschicht mit integrierter Sensorfunktion

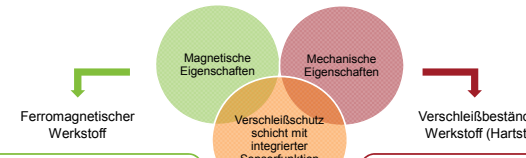
- Magnetische Eigenschaften
- Mechanische Eigenschaften

Verschleißbeständiger Werkstoff (Hartstoff)

- Mechanische Eigenschaften

25 IAM – AWP

Materialanforderungen



Ferromagnetischer Werkstoff

- Magnetische Eigenschaften

Verschleißschutzschicht mit integrierter Sensorfunktion

- Magnetische Eigenschaften
- Mechanische Eigenschaften

Verschleißbeständiger Werkstoff (Hartstoff)

- Mechanische Eigenschaften

Anforderungen:

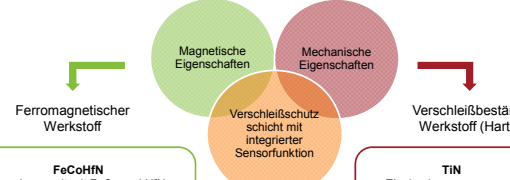
- Weichmagnetisch ($\mu_0 H_c < 1.3 \text{ mT}$)
- Magnetostriktives Verhalten
- Ausgeprägtes Resonanzverhalten

Anforderungen:

- Hohe Härte ($\sim 20 \text{ GPa}$)
- Hohe thermische Stabilität
- Hohe chemische Stabilität

26 IAM – AWP

Schichtkonzept und Materialauswahl



Ferromagnetischer Werkstoff

- Magnetische Eigenschaften

Verschleißschutzschicht mit integrierter Sensorfunktion

- Magnetische Eigenschaften
- Mechanische Eigenschaften

Verschleißbeständiger Werkstoff (Hartstoff)

- Mechanische Eigenschaften

FeCoHfN

- Nanokomposit mit FeCo und HfN Phase
- HfN hemmt FeCo Kornwachstum
- Verringerung des Koerzitivfeldes H_c

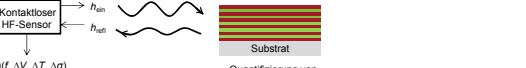
TiN

- Einphasig
- Härte: 18 – 21 GPa
- Als Verschleißschutzschicht etabliert

Substrat

27 IAM – AWP

Sensorkonzept



Quantifizierung von

a) **Materialabtrag**
 $M_s(V)/M_s(V_0)$

b) **Temperaturerhöhung**
 $M_s(T), H_s(T), \epsilon(T)$

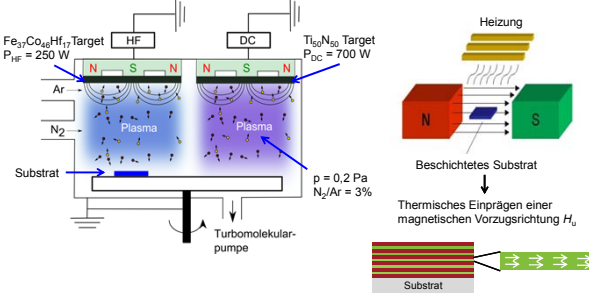
c) **Mechanisch induzierte Spannung**
 $H_{ext}(\epsilon)$

28 IAM – AWP

Schichtpräparation

1. Schichtherstellung mittels Hochleistungskathodenzerstäubung

2. Schichtkonditionierung
1h bei 400°C oder 600°C im Vakuum und B = 50mT



29 IAM – AWP

Optimierung der Sensorschicht

Optimierung des Viellagenaufbaus

1. Variation der Doppellagenanzahl $n = 7 - 399$
2. Variation des magnetischen Volumenverhältnisses $V_{mag}/V_{ges} = 0.4 - 0.7$
3. $Ti_{50}Al_{50}N_{50}$ Decklage anstelle $Ti_{50}N_{50}$ Decklage

Konstitution und Mikrostruktur:

- EPMA, AES
- Rauheitsmessung
- XRD, XRR
- REM, TEM

Magnetische Eigenschaften:

- VSM
- Frequenzabhängige Permeabilitätsmessung

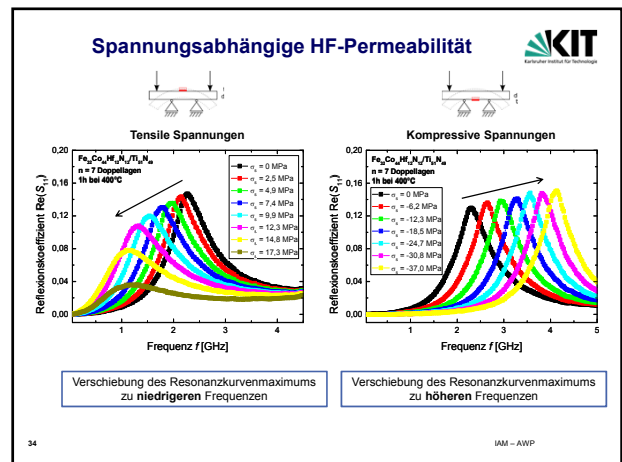
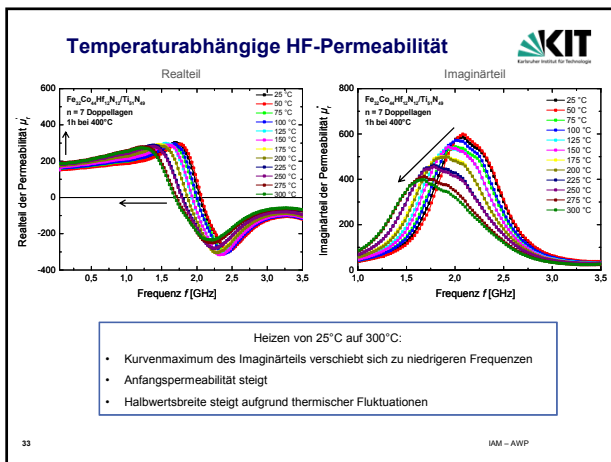
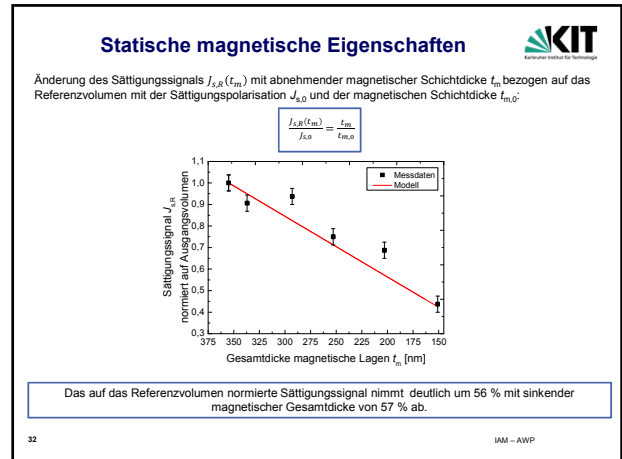
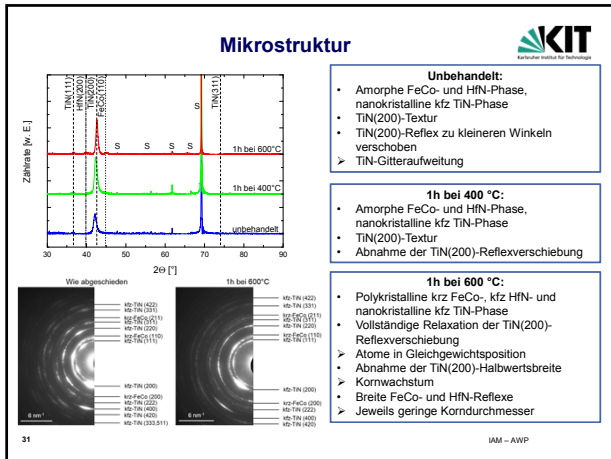
Mechanische Eigenschaften:

- Nanoindentierung
- Eigenspannungsmessung

Sensorschicht:
 $Fe_{2.2}Co_{4.4}Hf_{1.2}/Ti_{50}N_{50}$ mit $n = 7, V_{mag}/V_{ges} = 0.4$

Anzahl an Doppellagen	$d_{FeCoHfN}$ [nm]	d_{TiN} [nm]	Doppellagendicke Λ [nm]	Gesamtdicke d [nm]
7	83	67	120	904

30 IAM – AWP



Zusammenfassung

TiN/ZrN-Viellagen-Verschleißschutzschichten, Cr/CrN/B4C-Mehrlagen-Verschleißschutzschichten

- Korrelationen: Schichtdesign, Beschichtungsprozess, Mikrostruktur, Eigenschaften und Verhalten im Einsatz

TiN/FeCoHfN-Viellagen-Verschleißschutzschichten mit integrierter Sensorfunktionalität

- Erfolgreiche Kombination von magnetischen und mechanischen Eigenschaften in $Fe_{22}Co_{44}Hf_{12}N_{12}/Ti_{52}N_{50}$ Viellagenschichten zur berührungslosen Detektion von Schichteigenschaftsänderungen
- Materialabtrag** ist über eine Abnahme der HF-Messsignallintensität ab $t_m = 293$ nm detektierbar
- Temperaturerhöhung** ist über die Abnahme von f_0 mit einer Sensitivität von mindestens 1,5 MHz/°C detektierbar
- Modellhafte Beschreibung der **temperaturabhängigen Resonanzfrequenz**
- Mechanisch induzierte **Spannungen** sind über die Verschiebung von f_0 mit einer Sensitivität von mindestens 56,8 MHz/MPa detektierbar
- Modellhafte Beschreibung der **spannungsabhängigen Resonanzfrequenz**

35 IAM – AWP

Herzlichen Dank
an meine Mitarbeiterinnen
und Mitarbeiter,
an Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze
für die Einladung
und Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

36 IAM – AWP