



Keramische Datenspeicherung – Nachhaltige, energieeffiziente Langzeitspeicherung von Daten



Autor: erwin.peck@tuwien.ac.at

Erwin Peck¹, B. I. Hajas¹, A. Kirnbauer¹, R. Fürbacher², G. Liedl², L. Kreuziger³, M. Kunze³, C. Pflaum³, P. H. Mayrhofer¹

¹TU Wien, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie, Wien, Österreich

²TU Wien, Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien, Wien, Österreich

³Cerabyte GmbH, Wien, Österreich

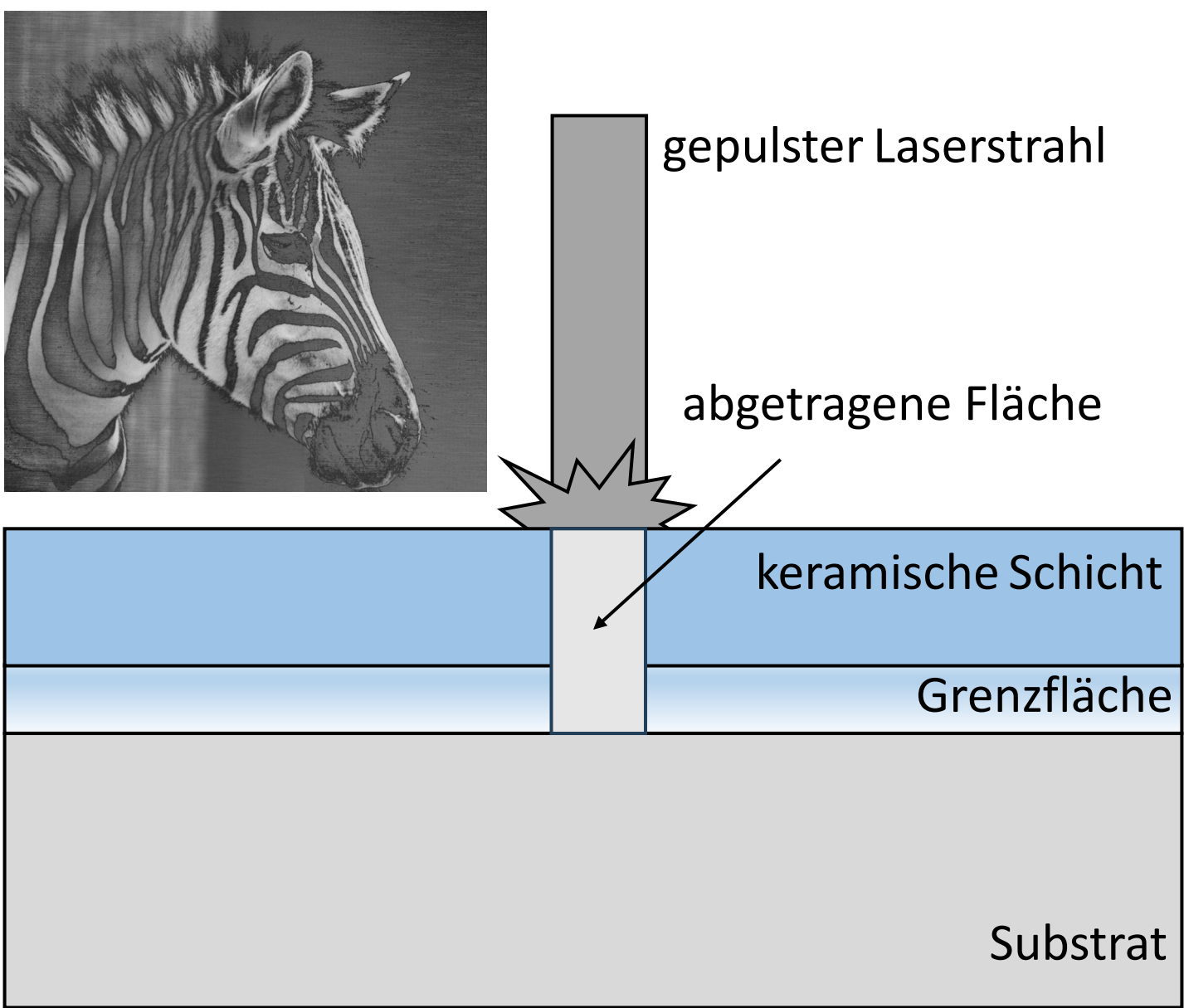
Einleitung

Heutzutage sind Datenspeicherung und deren Nachhaltigkeit ein Thema von großer Bedeutung, nicht nur für Cloud-Anbieter, sondern auch für viele andere Unternehmen und sogar für Privatpersonen. Die meisten gespeicherten Daten werden als „Cold Data“ bezeichnet, was bedeutet, dass sie nur sehr selten geändert und abgerufen werden (z.B. Fotos, Forschungsergebnisse). Diese Cold Data müssen gespeichert werden, und zu diesem Zweck betreiben Cloud-Anbieter Serverfarmen mit Festplattenlaufwerken (HDD). Auf diese Weise stellen sie die Daten auf Anfrage der Nutzer zur Verfügung. Diese Serverfarmen benötigen viel Energie, und die Speicherkapazität ist begrenzt. Um das Problem des Energiebedarfs und der begrenzten Kapazität zu lösen, steht eine neue Form von Speichermedien im Mittelpunkt unserer Forschung.

Deshalb haben wir, die Forschungsgruppen ¹Werkstoffwissenschaft dünner Schichten und ²Photonische Technologien, und unser Unternehmenspartner ³Cerabyte GmbH, uns zum Ziel gesetzt, dieses Problem zu lösen. Die Lösung für dieses Problem sehen wir in der physikalischen Speicherung von Daten mittels Laserablation auf dünnen Keramiksichten, die auf Trägermaterial aufgebracht werden. Diese Schicht-Substrat-Kombinationen haben den Vorteil, dass sie keine Energie für die Speicherung verbrauchen und ihre Lebensdauer weitaus länger ist als die herkömmlicher Speichermedien. Dies führte uns zu den folgenden Ergebnissen, in denen wir verschiedene Schicht-Substrat-Kombinationen auf Basis von Chrom und insbesondere deren Wechselwirkung mit Laserlicht und deren Haltbarkeit untersuchten.

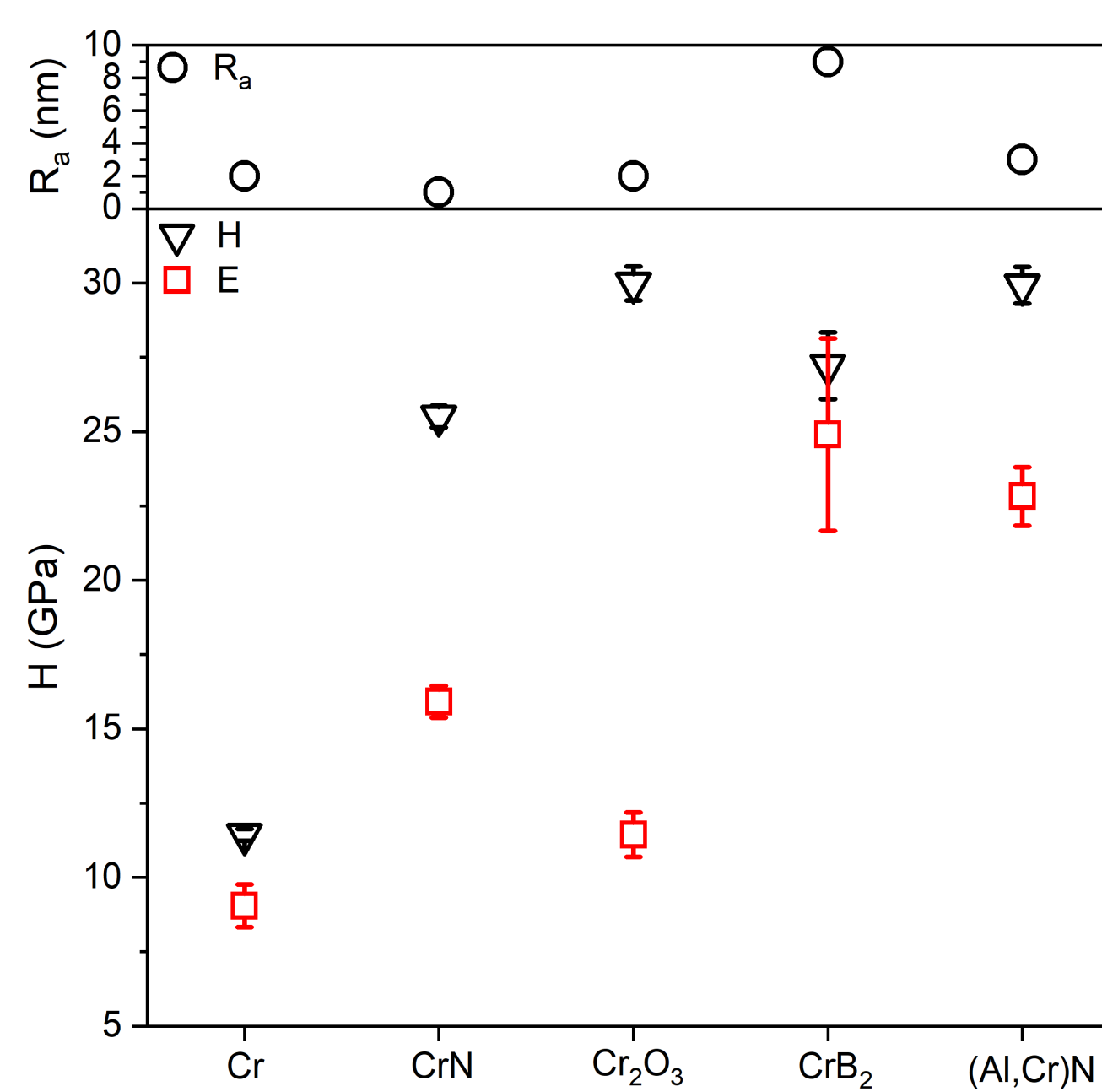
Verfahren

Um die beste Schicht-Substrat-Kombination für die Laserablation zu ermitteln, wurden 5 verschiedene Materialsysteme auf Chrombasis auf drei verschiedene Substrattypen aufgebracht. Filme aus Cr, CrN, Cr₂O₃, CrB₂ und (Al,Cr)N wurden durch Magnetron-Sputtern in einem modifizierten Leybold Heraeus Z400-Beschichtungssystem hergestellt. Für die Beschichtung mit Cr, CrN und Cr₂O₃ wurde ein pulvermetallurgisch hergestelltes Cr-Target verwendet, und für die reaktive Herstellung wurden zusätzlich zu Argon, Stickstoff und Sauerstoff bei einem Prozessdruck von etwa 0,4 Pa eingesetzt. Für die Herstellung von (Al,Cr)N-Schichten wurde ein pulvermetallurgisch hergestelltes stöchiometrisches AlCr-Target mit einer Zusammensetzung von 50:50 verwendet, das reaktiv mit Stickstoff gesputtert wurde. Nur die Cr- und CrB₂-Schichten wurden nicht reaktiv hergestellt. Die Substrattemperaturen und Leistungsdichten waren für alle Prozesse unterschiedlich. Für alle Materialsysteme wurden Schichten mit einer Dicke von 25, 100 und 1000 nm auf einkristallinem Al₂O₃ von Kyocera, polykristallinen Al₂O₃ von Corning und Glassubstraten von Schott aufgebracht. Alle Experimente, die zu den folgenden Ergebnissen führten, wurden auf einer handelsüblichen, hochmodernen Femtosekunden-Mikrobearbeitungsstation von Workshop of Photonics durchgeführt. Die Maschine wurde speziell für die Forschung zur Ablation kleinen Punkten unter Verwendung verschiedener Wellenlängen, verschiedener Fokussieroptiken und verschiedener Materialien sowie zur Inspektion der abgetragenen Löcher mit einem eingebauten Mikroskop entwickelt. Zur Bestimmung der Ablationsschwelle wurde die empirische Methode nach J. M. Liu [1] verwendet, die eine schnelle und einfache Methode darstellt. Diese Methode stellt eine lineare Beziehung zwischen dem Quadrat des Durchmessers des abgetragenen Spots und dem natürlichen Logarithmus der Fluenz dar.



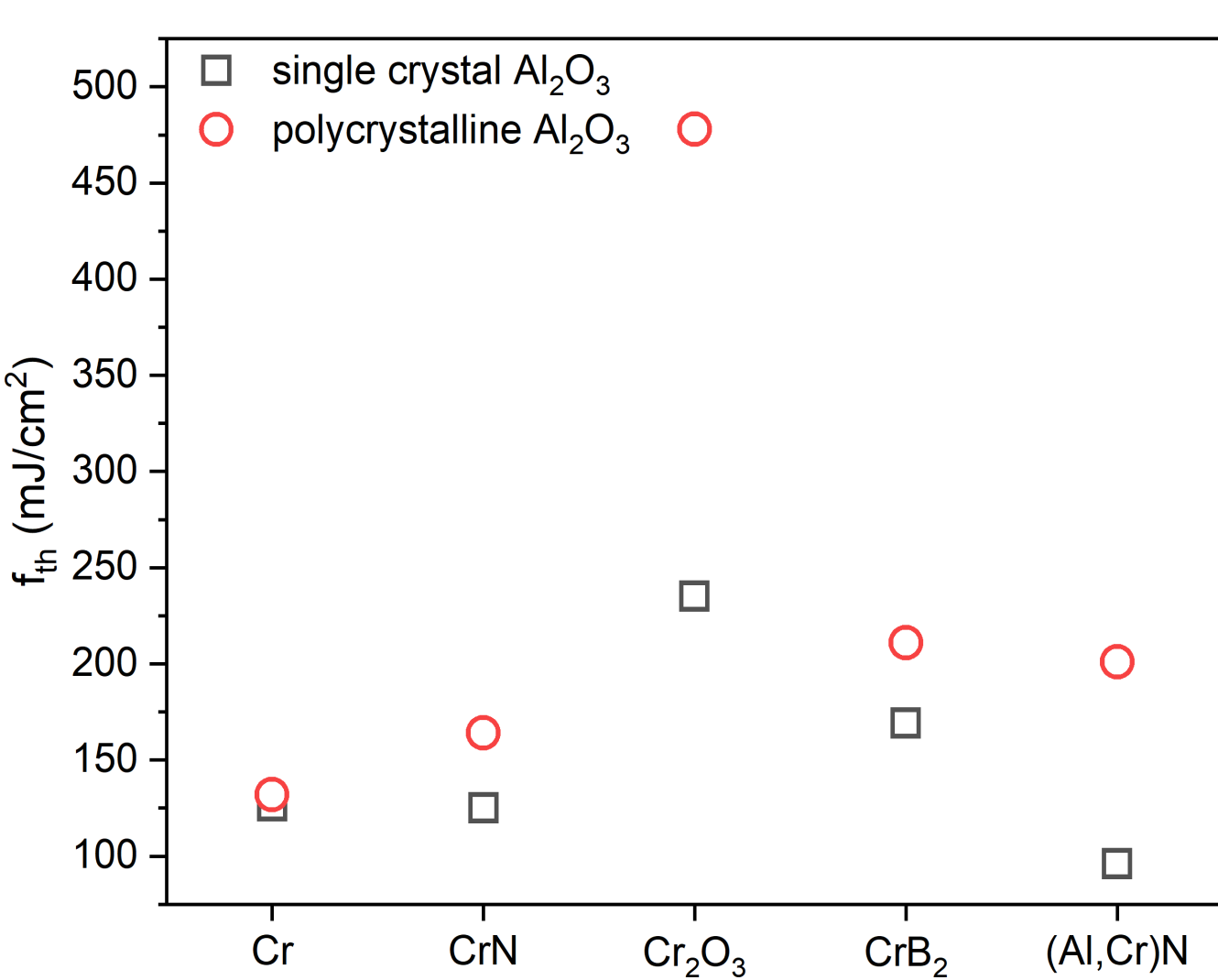
Ergebnisse

H, E und R_a von Cr-basierten Schichten auf Saphir, 1000 nm



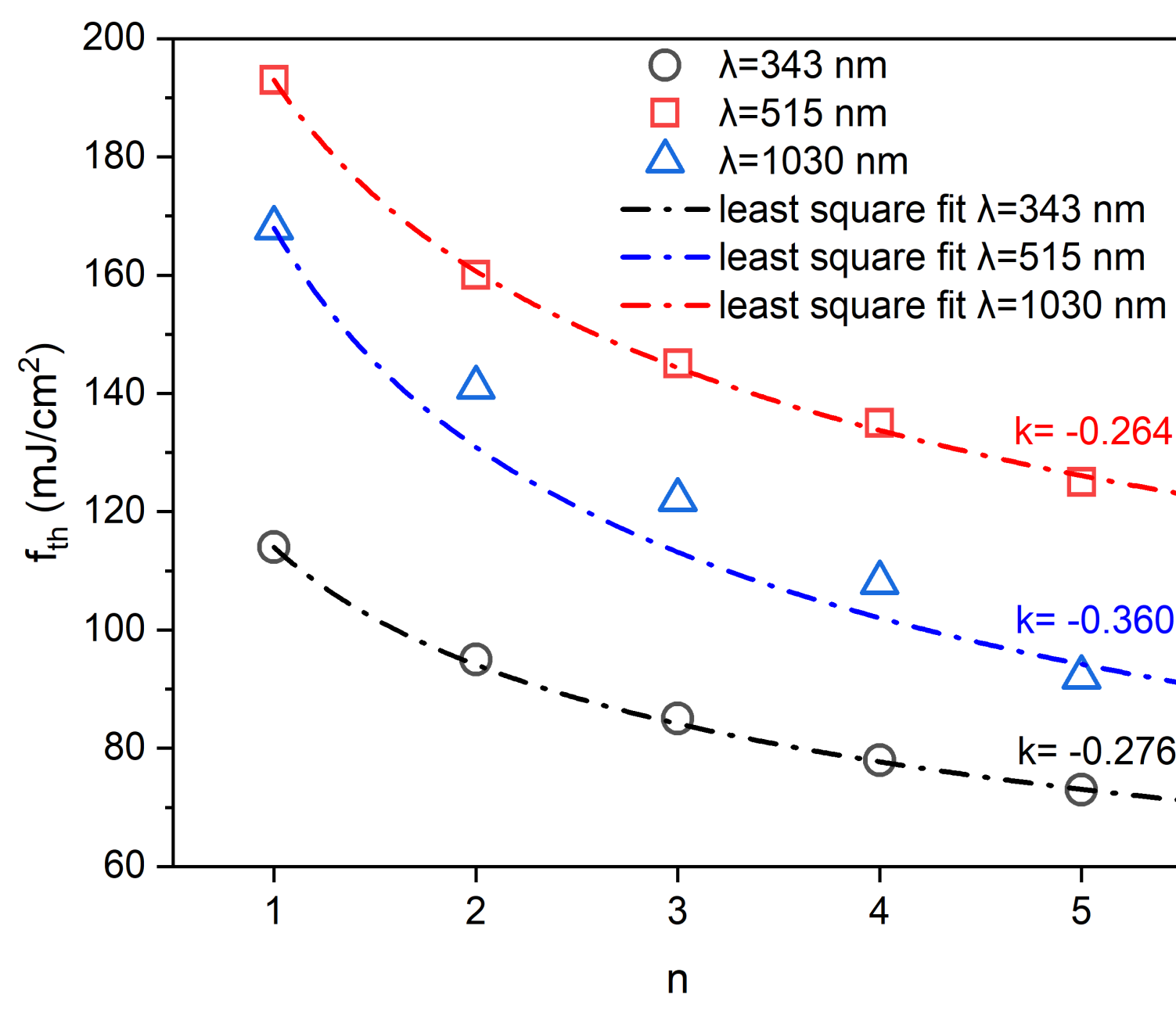
- (Al,Cr)N und CrB₂ weisen die höchste Härte bei gleichzeitig hohem Elastizitätsmodul auf
- CrN: R_a = 0,001 µm, T_s = 400 °C, H = 25,5 ± 0,4 GPa, E = 429 ± 4 GPa und f_{th} = 114 mJ/cm² (für n = 1 und λ = 343 nm)

F_{th} von Cr-basierten Materialien mit n=5, 25 nm



- Cr, CrN und (Al,Cr)N haben die niedrigste Laserablationsschwelle
- Die Ablationsschwelle ist auf einkristallinen Al₂O₃-Substraten immer niedriger als auf dem polykristallinen
- f_{th} steigt für CrN (für n = 5, λ = 515 nm) mit zunehmender Schichtdicke nahezu linear an; Steigung = 0,75 $\frac{mJ}{cm^2 nm}$

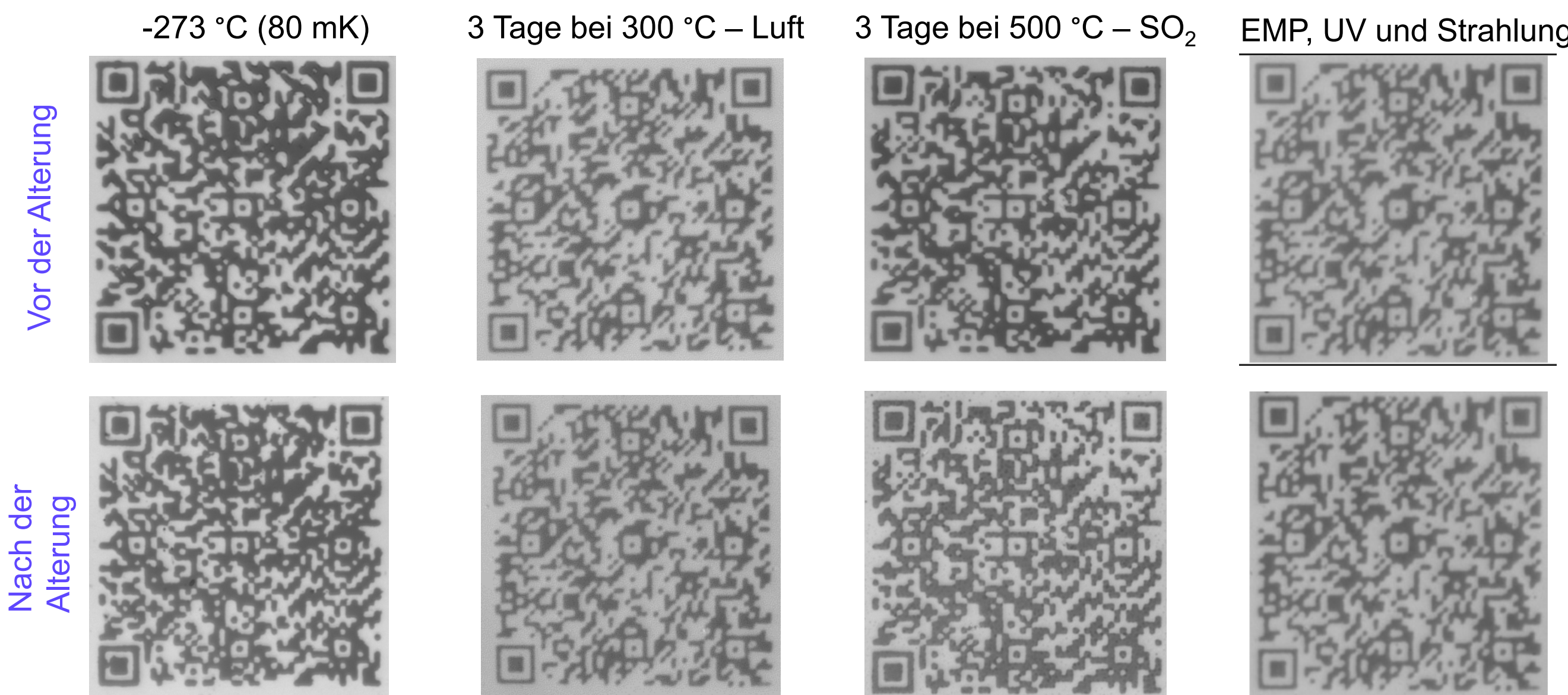
F_{th} in Abhängigkeit von der Laserwellenlänge und der Anzahl der Impulse, CrN, 25 nm



- 1030 nm (1st -Harmonische, NIR), 515 nm (2nd harmonische, VIS) und 343 nm (3rd harmonische, NUV)
- f_{th} hängt stark von der Wellenlänge λ des Laserstrahls ab: am niedrigsten bei 343 nm, am höchsten bei 515 nm, dazwischen bei 1030 nm
- f_{th} nimmt mit steigender Anzahl an Pulsen ab und folgt dabei einer Power-Law-Abhängigkeit mit einem negativen Exponenten, der deutlich kleiner als 1 ist (k = -0,276 für λ = 343 nm)

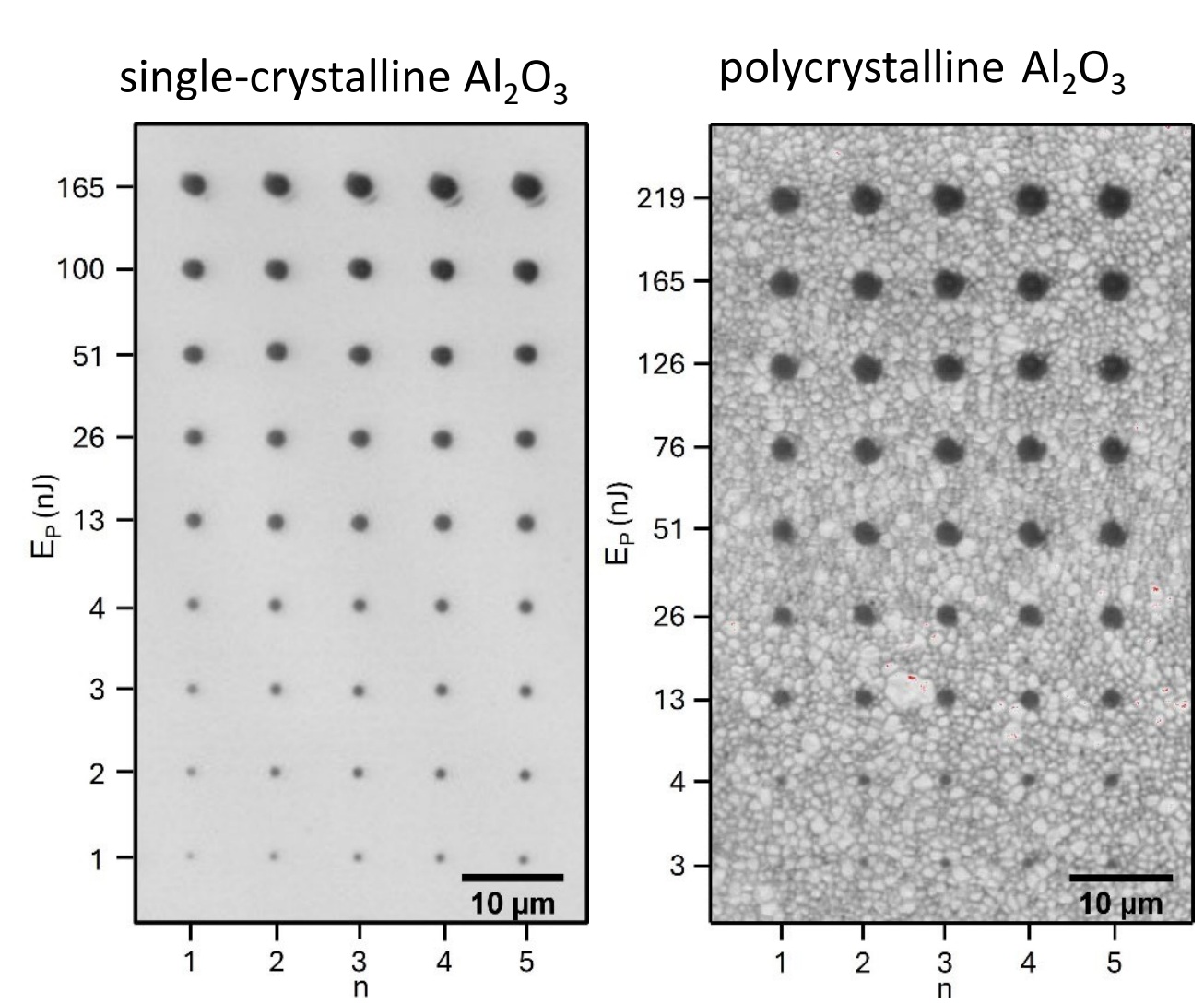
Langzeittests Übersicht

Glassubstrat – Temperatur-, EMP-, UV- und strahlungsbeständig

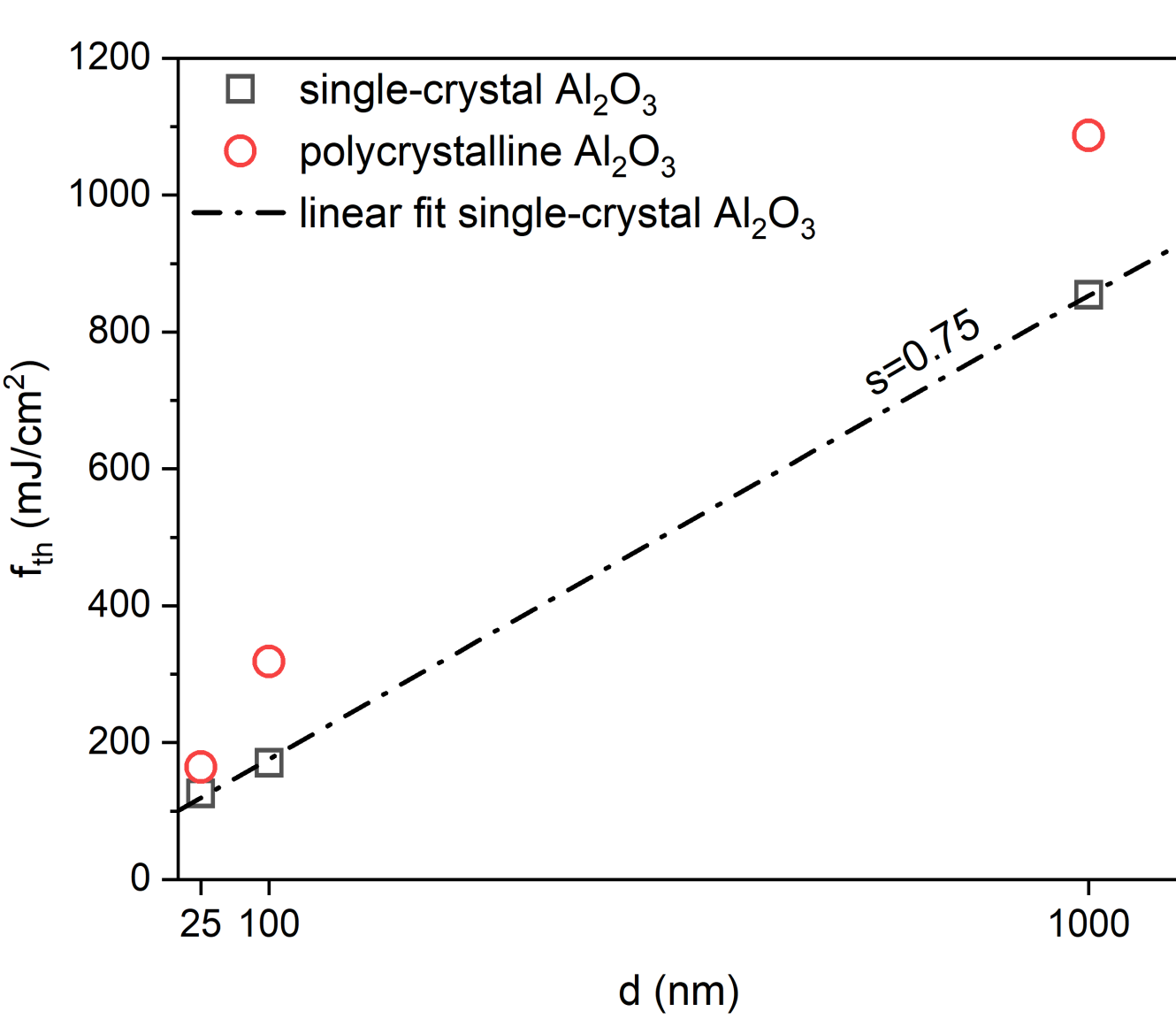


- 50 µm x 50 µm QR-Code mit 1 µm Pixelgröße auf Glassubstraten und 10 nm CrN-Beschichtung
- Getestet bei sehr niedrigen Temperaturen (-273 °C), bei hohen Temperaturen (300 °C Luft, oxidative Umgebung) und (500 °C SO₂, korrosive Umgebung) sowie gegen elektromagnetische Impulse, UV-Licht und Strahlung
- Die Lesefehler bleibt nach den Tests unter 5 %

Ablationstest auf 25 nm CrN auf Saphir



F_{th} in Abhängigkeit von der Schichtdicke, CrN, n= 5



Resümee

Basierend auf diesen Ergebnissen bietet eine Chromnitrit-Schicht, die lediglich wenige Nanometer stark ist, die auf Saphir aufgebracht und mit einem Femtosekundenlaser bei λ = 343 nm abgetragen wurde, eine hervorragende Kombination für umweltfreundliches Schreiben und langfristige Datenspeicherung. Ihre niedrige Ablationsschwelle ermöglicht hohe Schreibgeschwindigkeiten und macht sie zu einem starken Kandidaten für Datenspeichertechnologien der nächsten Generation. Allgemeiner gesagt weisen Cr-basierte Schichten im niedrigen Nanometerbereich ein großes Potenzial als nachhaltige, langlebige und energieeffiziente Speichermedien auf. Unter diesen sticht CrN aufgrund seiner mechanischen Festigkeit, Oberflächenqualität und seines günstigen Laserablationsverhaltens hervor. Die Auswahl des Substrats spielt jedoch eine entscheidende Rolle. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich auch auf alternative Materialsysteme konzentrieren – darunter Verbindungen auf Titanbasis, amorphe Schichten und Mehrschichtstrukturen. Darüber hinaus sollten weit verbreitete Substrate, wie beispielsweise verschiedene Glasarten, weiter untersucht werden, um die industrielle Produktion von Datenspeichermedien zu erleichtern.

[1] Liu J. M. "Simple technique for measurements of pulsed Gaussian-beam spot sizes". In: *Optics Letters* Vol. 7, No. 5 (1982).

Danksagung

Wir danken dem Röntgenzentrum (XRC) der TU Wien für seine Unterstützung.