

OST
Ostschweizer
Fachhochschule

Internal Reflection Measurement Analysis

IRMA

Dominique Filipec
2. September 2024

IMP

1

Einführung

Es gibt verschiedene Arten von Tiefenbeschädigungen

0.01 - 1.0 µm
1.0 - 100 µm
1.0 - 200 µm

BEILBY-Schicht
SSD-Schicht
deformierte Schicht
defektfreie Schicht

Verunreinigungen
Risse
Kratzer

2. September 2024

2

Einführung

Tiefenbeschädigungen verringern stark die Laserzerstörschwelle

Focusing lens

LIDARIS
LIDT Service

Delamination
Pin-points
Fractures

2. September 2024

3

Grundlagen

Tiefenbeschädigungen werden im Herstellungsprozess verursacht

hoch
gering
gering

Abtrag/
Abtragungsrate

Vorschleifen
Feinschleifen
Läppen
Polieren

verlagerte SSD
unter BEILBY-Schicht

SSD

Bearbeitungszeit

hoch

2. September 2024

4

Stand der Technik

Messmethoden

Zerstörende Verfahren

- Dimpling, MRF-Polishing
- Bonded Interface Technik
- Cross-Sectional Microscopy
- Transmissions-Elektronen-Mikroskopie
- Farbstoffimprägnierung

Nicht-Zerstörende Verfahren

- Prädiktive Methoden
- Laser Scanning Confocal Microscopy
- Scanning Acoustic Microscopy
- Optische Kohärenz Tomographie

5 | 2. September 2024 | OST

5

Stand der Technik

Messmethoden

Zerstörende Verfahren

Nicht-Zerstörende Verfahren

Zerstörung der Probe

Zeitintensiv

Kostenintensiv

Komplex

Kein In-situ-Messverfahren

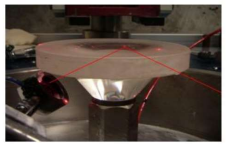
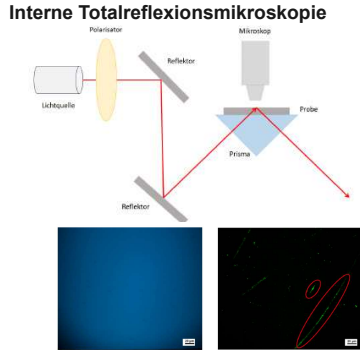
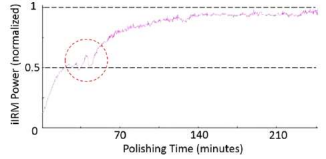
6 | 2. September 2024 | OST

6

Stand der Technik

Bei zwei nicht-zerstörenden Methoden wird interne Reflexion angewendet

Interne Reflexionsmessung

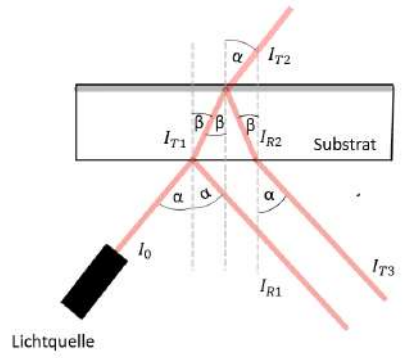




7 | 2. September 2024 | OST

7

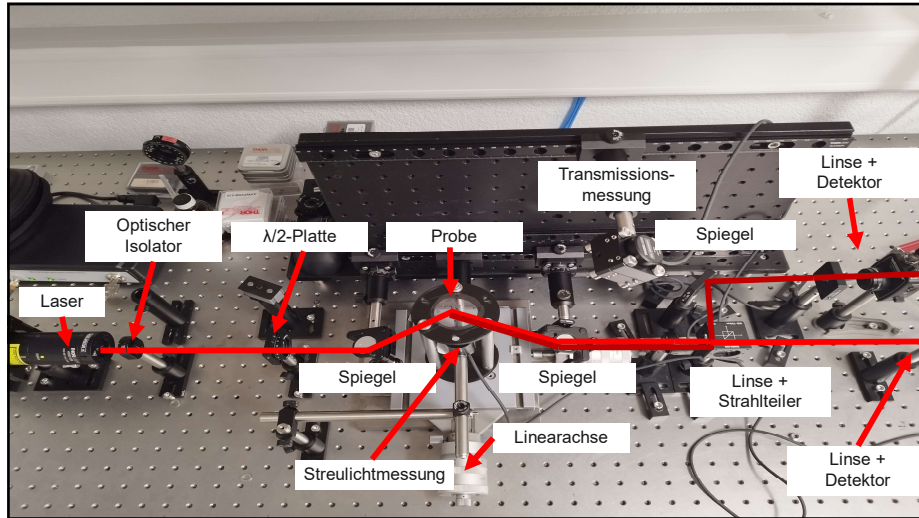
Messaufbau

Prinzipskizze



8 | 2. September 2024 | OST

8



9

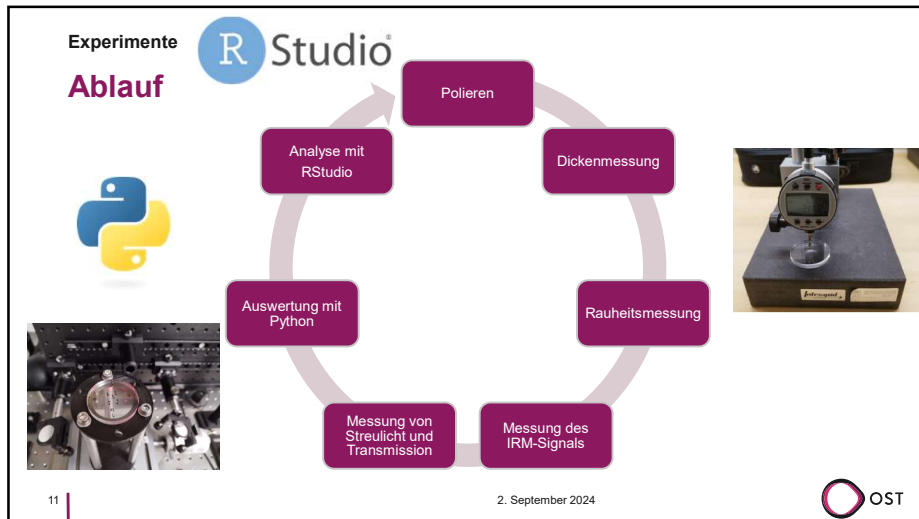
Messaufbau
Die Reproduzierbarkeit wurde durch eine Messschablone gewährleistet



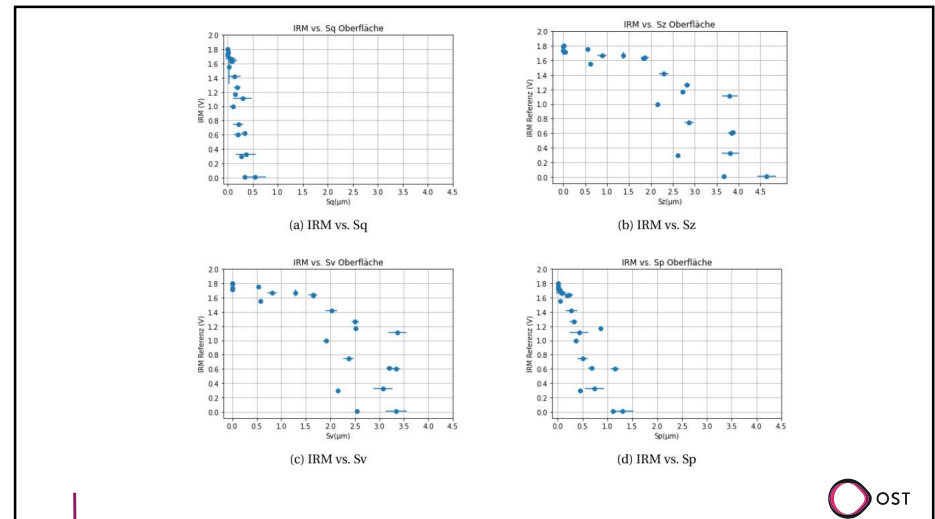
Gemessene Flächen	1 & 5
Verstärkung am Detektor	40 dB
Einfallswinkel und Polarisation	50° bei s-Polarisation
Gemessene Proben	2, 3 und 4
Referenzprobe	5
Messzeit	2 Sekunden
Messfrequenz	10kHz

10 | 2. September 2024 | OST

10



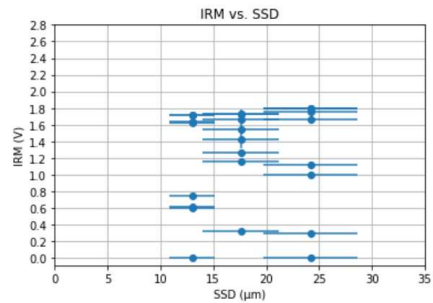
11



12

Ergebnisse

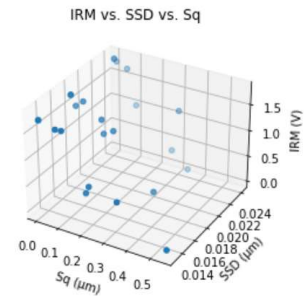
Keine Korrelation der Messwerte mit der Tiefenbeschädigung erkennbar



13

Ergebnisse

Analyse der Daten mittels linearer Regression



$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n + \epsilon$$

Labels for the equation components:

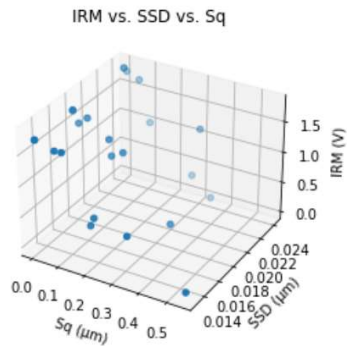
- y : Abhängige Variable
- β_0 : Achsenabschnitt
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: Regressionskoeffizienten
- x_1, x_2, \dots, x_n : Unabhängige Variable
- ϵ : Fehler

2. September 2024

14

Ergebnisse

RStudio Output gibt Aufschluss über die Signifikanz der unabhängigen Variablen



```
Call:
lm(formula = IRM_o_s ~ Sq + SSD_99 + Sq:SSD_99, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.43800 -0.06258 -0.00191  0.13143  0.62889

Coefficients:
(Intercept)  1.67091  0.29308  5.701  1.4e-05 ***
Sq           -2.23719  1.29580 -1.726  0.0997 .
SSD_99       0.00473  0.01554  0.304  0.7639
Sq:SSD_99   -0.08941  0.07262 -1.231  0.2326
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2445 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8591, Adjusted R-squared:  0.8379
F-statistic: 40.64 on 3 and 20 DF, p-value: 1.068e-08
```

2. September 2024

15

Ergebnisse

Vier verschiedene Modelle zum Testen des Einflusses der SSD

Modelle 1-4

Modell 1: Sq-Wert

$$IRM_{o_s} = 1.67091 - 2.23719 \cdot Sq + 0.00473 \cdot SSD_{99} - 0.08941 \cdot (Sq:SSD_{99}) + \epsilon$$

Modell 2: Sz-Wert

$$IRM_{o_s} = 2.051255 - 0.314599 \cdot Sz - 0.009561 \cdot SSD_{99} - 0.001832 \cdot (Sz:SSD_{99}) + \epsilon$$

Modell 3: Sv-Wert

$$IRM_{o_s} = 2.0903242 - 0.4104686 \cdot Sv - 0.0128988 \cdot SSD_{99} + 0.0006009 \cdot (Sv:SSD_{99}) + \epsilon$$

Modell 4: Sp-Wert

$$IRM_{o_s} = 1.67091 - 2.23719 \cdot Sq + 0.00473 \cdot SSD_{99} - 0.08941 \cdot (Sq:SSD_{99}) + \epsilon$$

2. September 2024

16

Ergebnisse
Vier verschiedene Modelle zum Testen des Einflusses der SSD

Modelle 1-4

Modell 1: Sq-Wert

$$IRM_{o,s} = 1.67091 - 2.23719 \cdot Sq + 0.00473 \cdot SSD_{99} - 0.08941 \cdot (Sq \cdot SSD_{99}) + \epsilon$$

Bei keinem der Modelle hat die SSD einen signifikanten Einfluss auf das IRM-Signal!!!

Modell 2: Sp-Wert

$$IRM_{o,s} = 2.0903242 - 0.4104686 \cdot Sp - 0.0128988 \cdot SSD_{99} + 0.0006009 \cdot (Sp \cdot SSD_{99}) + \epsilon$$

Modell 4: Sp-Wert

$$IRM_{o,s} = 1.67091 - 2.23719 \cdot Sq + 0.00473 \cdot SSD_{99} - 0.08941 \cdot (Sq \cdot SSD_{99}) + \epsilon$$

17 | 2. September 2024 | OST

17

Ergebnisse
Die Analyse der Residuen zeigt, dass das Modell 5 die Daten gut erklären kann

$$IRM_{o,s} = 1.932311 - 2.272653 \cdot Sq - 0.647474 \cdot Sp - 0.004455 \cdot SSD_{max} + \epsilon$$

```

Call:
lm(formula = IRM_o_s ~ SSD_max + Sq + Sp, data = data)

Residuals:
Min      1Q  Median      3Q      Max
-0.49121 -0.13227  0.01935  0.11860  0.37512

Coefficients:
(Intercept)  1.932311  0.129236 14.952 2.55e-12 ***
SSD_max      -0.004455  0.003037 -1.467 0.157993
Sq           -2.272653  0.581116 -3.911 0.000867 ***
Sp           -0.647474  0.215860 -3.000 0.007084 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2104 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8957, Adjusted R-squared:  0.88
F-statistic: 57.24 on 3 and 20 DF, p-value: 5.376e-10
    
```

18 | 2. September 2024 | OST

18

Ergebnisse
Modell 6 zeigt den Einfluss der Tiefenbeschädigung auf das Streulichtsignal

$$Streuung = 1.102935 - 0.002766 \cdot SSD_{99} - 1.731441 \cdot Transmission + 0.291577 \cdot IRM_{o,s} + \epsilon$$

(a) Transmittierte Leistung vs. Tiefenbeschädigung vs. Sq

(b) Gestreute Leistung vs. Tiefenbeschädigung vs. Sq

19 | 2. September 2024 | OST

19

Ergebnisse
Modell 6 zeigt den Einfluss der Tiefenbeschädigung auf das Streulichtsignal

$$Streuung = 1.102935 - 0.002766 \cdot SSD_{99} - 1.731441 \cdot Transmission + 0.291577 \cdot IRM_{o,s} + \epsilon$$

Modell 6

```

Call:
lm(formula = Streuung ~ SSD_99 + Transmission + IRM_o_s, data = data_clean)

Residuals:
Min      1Q  Median      3Q      Max
-0.024679 -0.009222 -0.001384  0.004921  0.027133

Coefficients:
(Intercept)  1.102935  0.029917 36.867 3.21e-10 ***
SSD_99      -0.002766  0.001232 -2.244 0.0551 .
Transmission -1.731441  0.078880 -21.950 1.96e-08 ***
IRM_o_s      0.291577  0.035666  8.175 3.74e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.0192 on 8 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9974, Adjusted R-squared:  0.9964
F-statistic: 1020 on 3 and 8 DF, p-value: 1.135e-10
    
```

20 | 2. September 2024 | OST

20

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Zusammenfassung der Ergebnisse

Realisierung eines Messaufbaus	Einfallswinkel 50° S-Polarisation Inkl. Streulicht- und Transmissionsmessung
Analyse zur Messbarkeit verschiedener Arten von Tiefenbeschädigungen	3 Proben 4 Polierstufen Unterschiedliche Tiefenbeschädigungen
Optimierung der Signalauflösung	S-Polarisation 79.1° Einfallswinkel
Einfluss der Oberflächenrauheit	Signifikant
Einfluss der Tiefenbeschädigung	Nicht signifikant

21

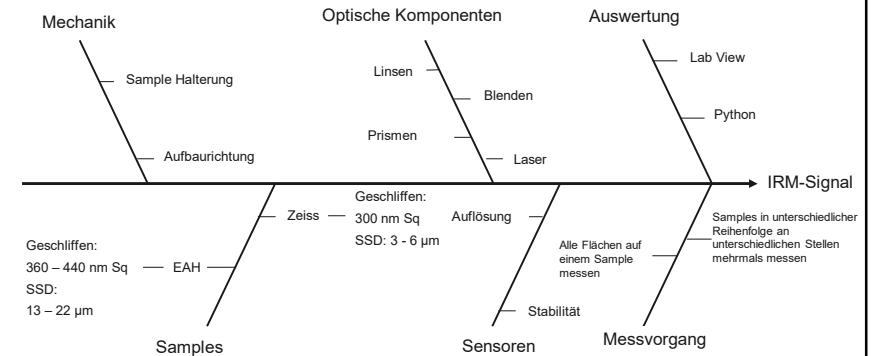
2. September 2024



21

Zusammenfassung und Ausblick

Ishikawa Diagramm



22

2. September 2024



22

Danke für die Aufmerksamkeit

23

2. September 2024



23