
DGKK-Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven Halbleiterkristallen“ am 8./9. Okt. 2014 in Freiberg

Defektlumineszenz in 4H-SiC

Daniel Kaminzky,
B. Kallinger, P. Berwian,
J. Friedrich (Fraunhofer IISB)

S. Oppel, M. Schütz
(Intego Vision Systeme)



Inhalt

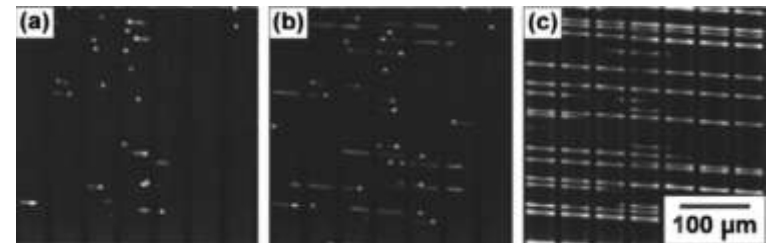
- Motivation
- Photolumineszenz
- Vorstellung PL-Defektlumineszenzscanner
- Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC Epitaxieschichten
- Zusammenfassung
- Ausblick

Motivation

SiC in der Leistungselektronik

Leistungsfähigkeit von SiC-Bauelementen kann durch strukturelle und kristallographische Defekte in Epitaxieschichten begrenzt sein

- Stapelfehler
- Basalflächenversetzungen
- (*threading dislocations*)



Bipolardegradation in 4H-SiC p-i-n Diode [1]

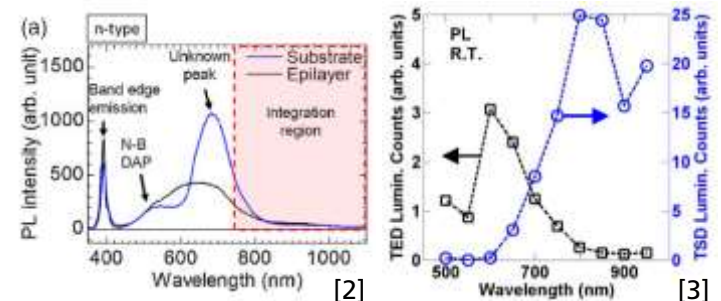
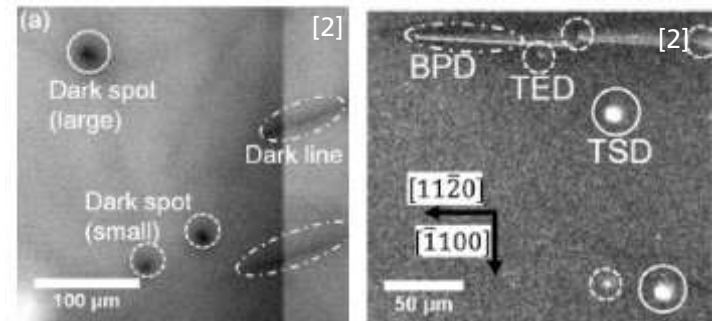
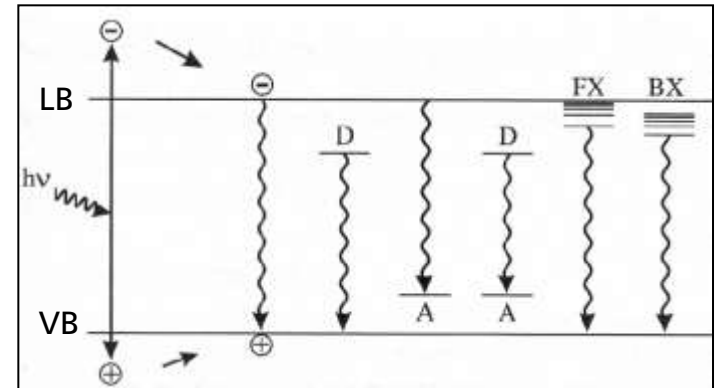
Etablierte Charakterisierungsmethoden:

- Defektselektives Ätzen (nicht zerstörungsfrei)
- Synchrotron Röntgentopographie (zeitaufwändig, kostenintensiv)
- **UV-PL** (zerstörungsfrei, schnell, hochauflösend, abbildendes Verfahren, keine Probenpräparation, Mapping des gesamten Wafers)

Photolumineszenz : Phys. Grundlagen

Photolumineszenz:

- Anregung durch Absorption von Photonen ($h\nu > E_g$)
- Erzeugung von Elektronen-Loch-Paaren
- Rekombination: Direkt oder über Zwischenniveaus in der Bandlücke
- Nicht strahlende bzw. strahlende Rekombination (Lumineszenz)
- Defekte als strahlende bzw. nichtstrahlende Rekombinationszentren
- Defektspezifische PL-Wellenlänge (Spektraler Fingerabdruck)



Photolumineszenz

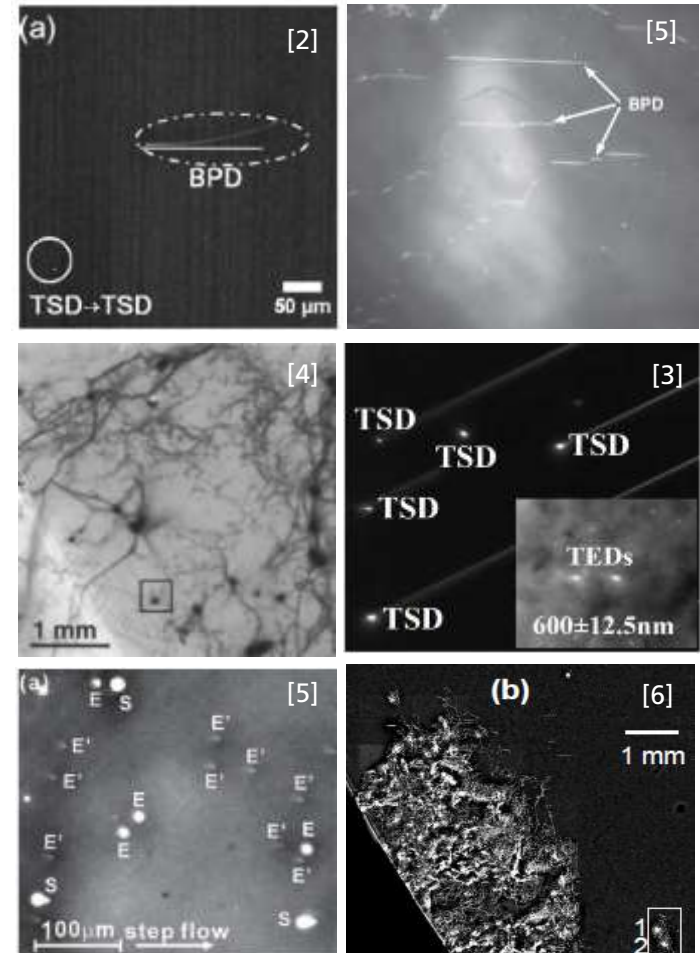
Untersuchung der Photolumineszenz an Defekten in SiC

Mehrere Arbeitsgruppen:

- Messaufbauten für Forschungszwecke
- Lokale Untersuchung
- Mapping des ges. Wafers mehrere Stunden
- Grundlagenforschung

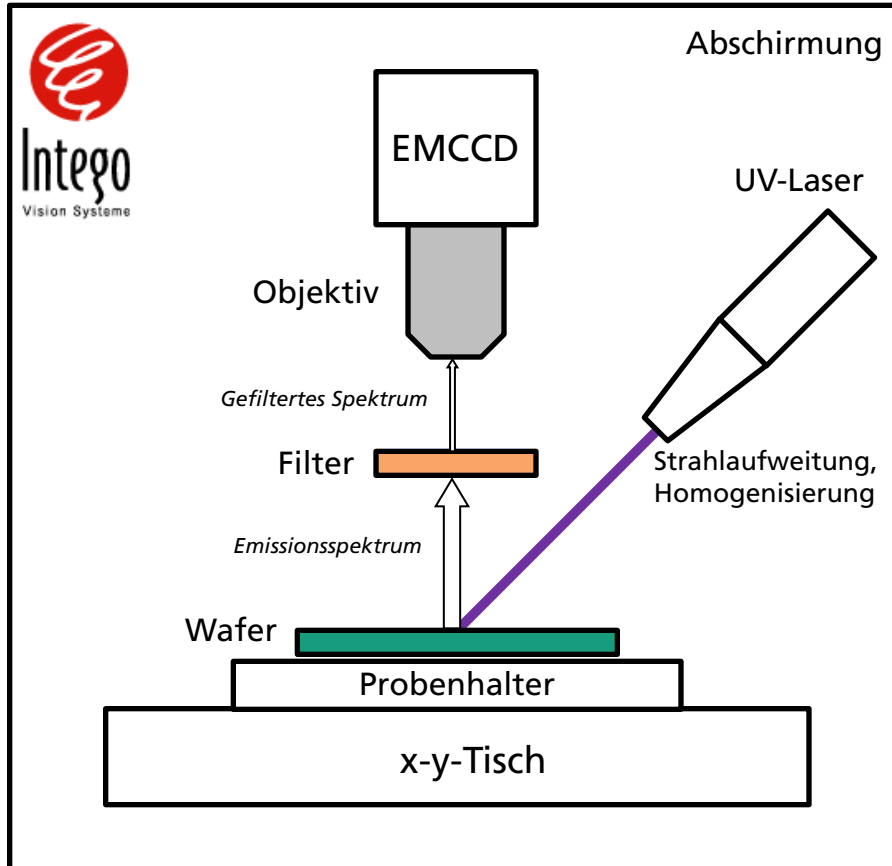
Fraunhofer IISB und Intego:

- Entwicklung eines kommerziellen, anwendungsorientierten Tool zur Defektcharakterisierung an SiC
- **UV-PL-Defektlumineszenzscanner**



Messprinzip: Defektlumineszenzscanner

Schematischer Aufbau und Kenndaten



- UV-Laser: 325 nm (cw)
- Eindringtiefe: ca. 8 μm
- EMCCD-Kamera (400 - 1000 nm)
- Objektiv: x2,5 (x5,0)
- Bandpassfilter:
- $\lambda = 450 \pm 40 \text{ nm}$
- $\lambda = 540 \pm 40 \text{ nm}$
- Langpassfilter: $\lambda > 590 \text{ nm}$

- x-y-Tisch (bis zu 6'')
- Laterale Aufl.: 5 μm
- Messdauer: 10 - 30 min

Klasse 1 Lasersystem

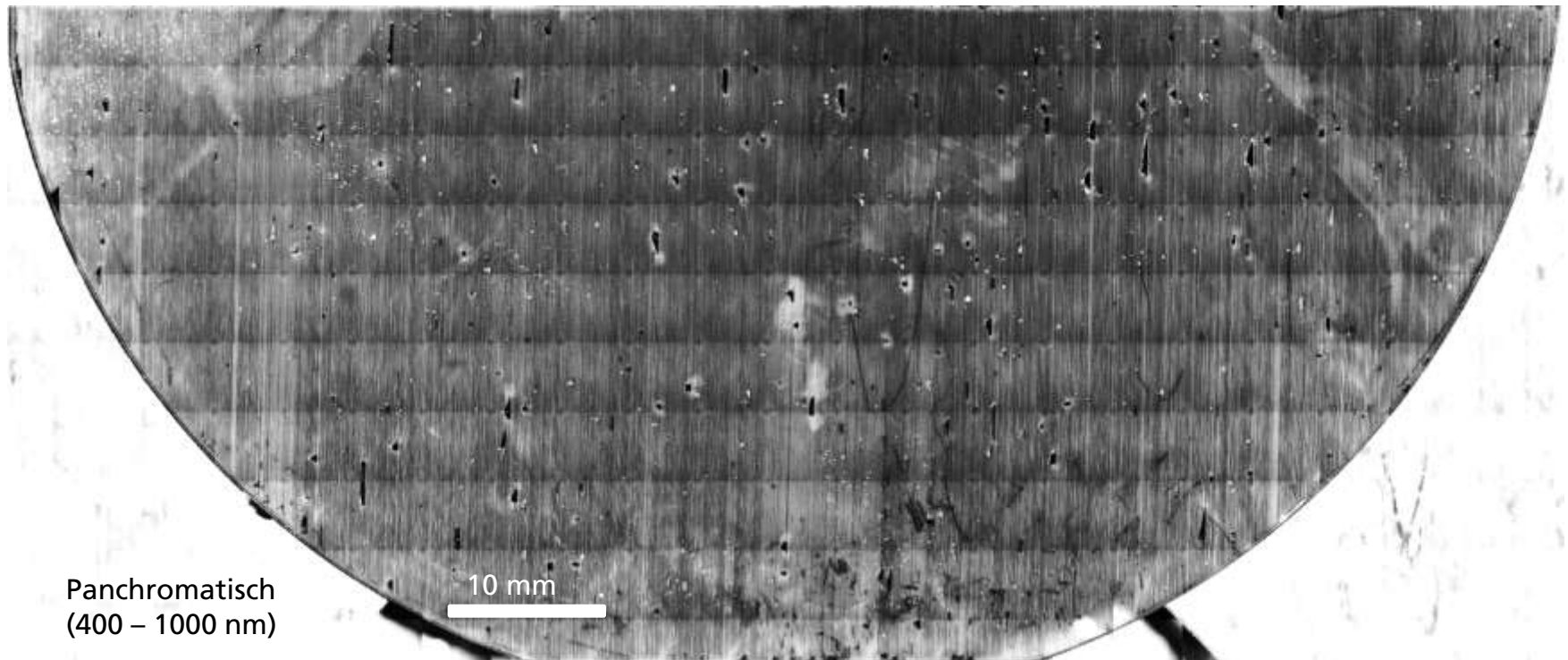
Messprinzip: Defektlumineszenzscanner

Geräteaufbau im FhG-Reinraum



Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

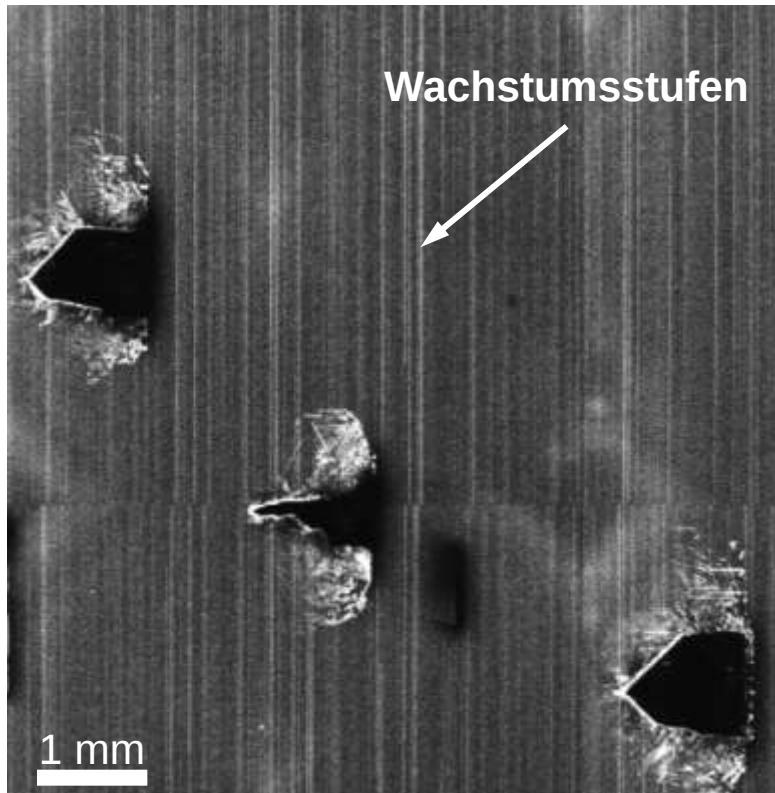
Typisches PL-Mapping an epitaktischem n-4H-SiC (defektbehaftet)



Diverse strukturelle Auffälligkeiten → Klassifizierung

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

Dunkle Dreiecksdefekte (Stapelfehler) mit Basalflächenversetzungen

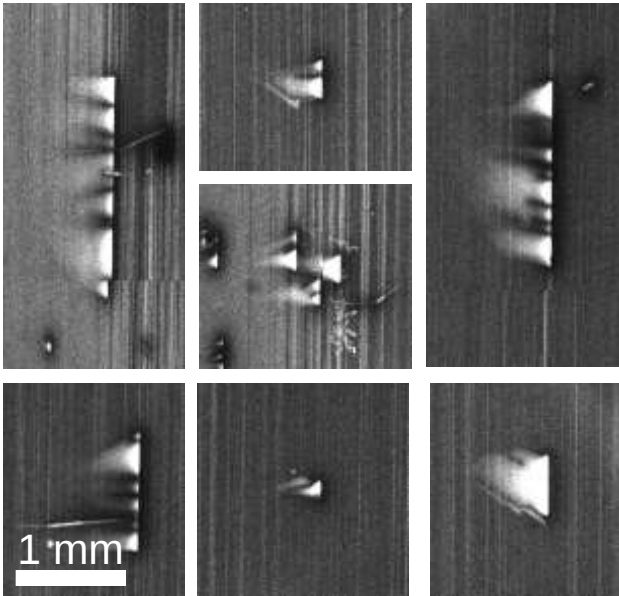


Panchromatisch

- Stapelfehler als Dreiecke
- Dunkles Zentrum
- Helle Kanten und Nukleationsort
- Gestörter Bereich um Dreiecksdefekte
- Helle feine Linien zeigen Basalflächenversetzungen
- Helle parallele Linien (senkrecht zur Stufenflussrichtung): Wachstumsstufen

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

Helle Dreiecksdefekte (Stapelfehler)

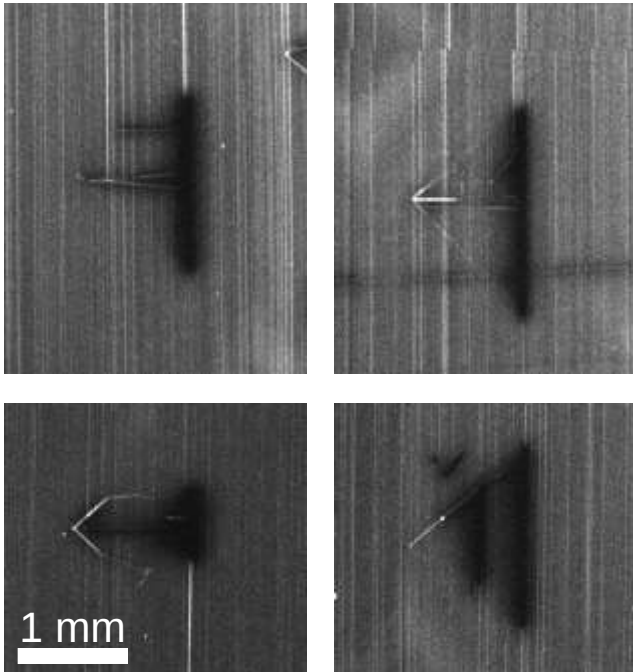


Panchromatisch

- Dunkler stabförmiger Bereich mit hellen dreiecksförmigen Bereichen
- Mehrere helle Bereiche entlang eines Defektes
- Überlagerung von mehreren Stapelfehlern möglich

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

Stabförmige Defekte (Stapelfehler)

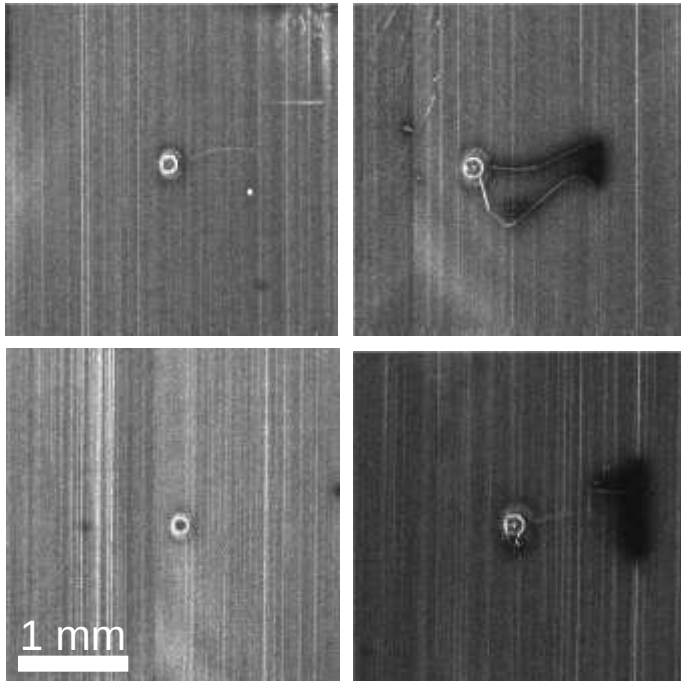


Panchromatisch

- Stapelfehler als dunkler stabförmiger Bereich
- Heller dreiecksförmiger Bereich am Nukleationsort
- Anderes Erscheinungsbild als „Dreiecksdefekte“

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

Ringförmige Defekte

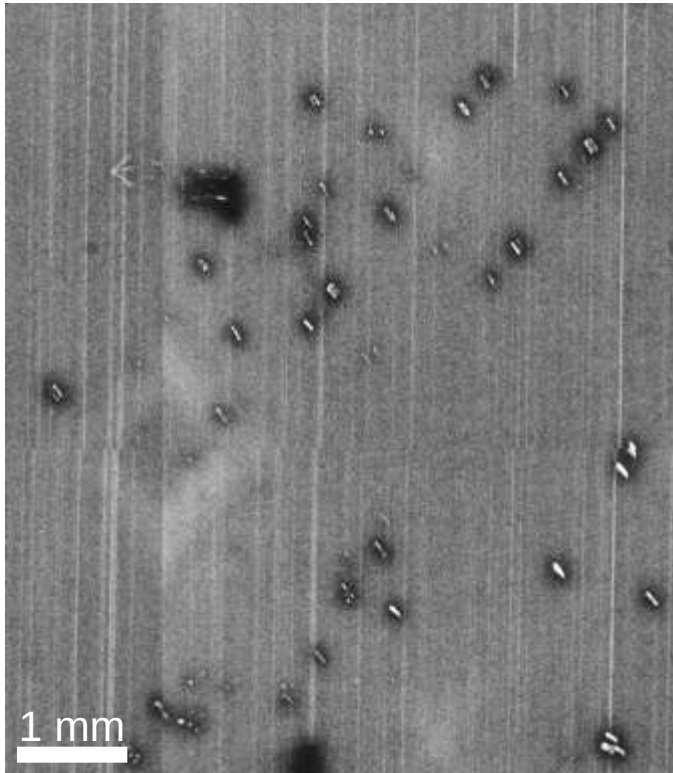


Panchromatisch

- Heller ringförmiger Bereich
- Eingewachsene Partikel oder Mikroröhren
- Nukleationsort für Dreiecksdefekte (Stapelfehler)

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

„Reisförmige“ Defekte

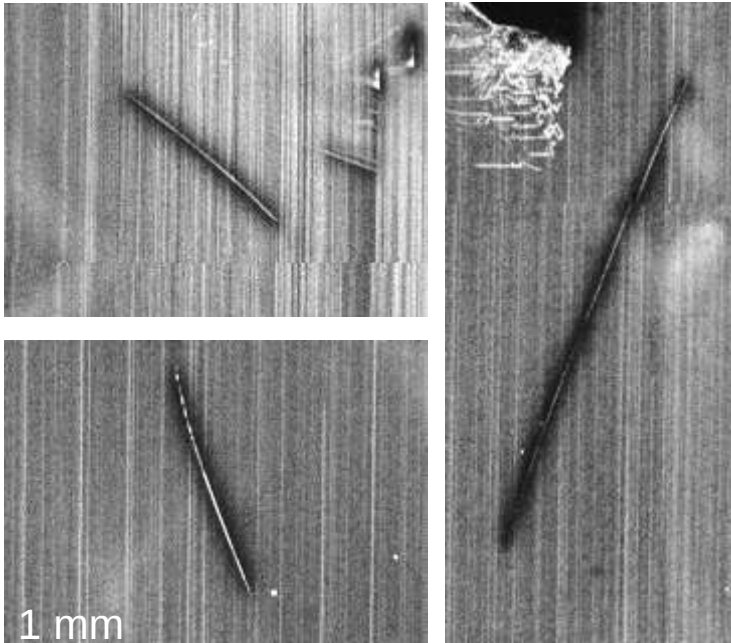


Panchromatisch

- Helles „reisförmiges“ Zentrum mit dunkler Umrandung
- Vorzugsorientierung
- Ähnliche Defekte aus Literatur bekannt (*threading dislocations?*)

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

Linienhafte Defekte



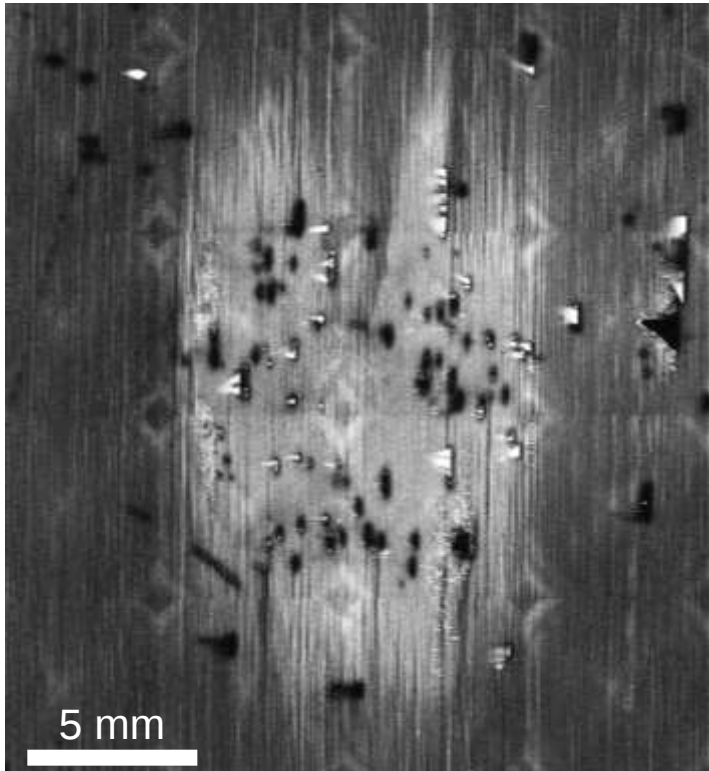
1 mm

Panchromatisch

- Helle Linienhafte Defekte mit dunkler Umrandung
- Keine Vorzugsorientierung, willkürliche Anordnung
- Vermutlich Kratzer?

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

Facette

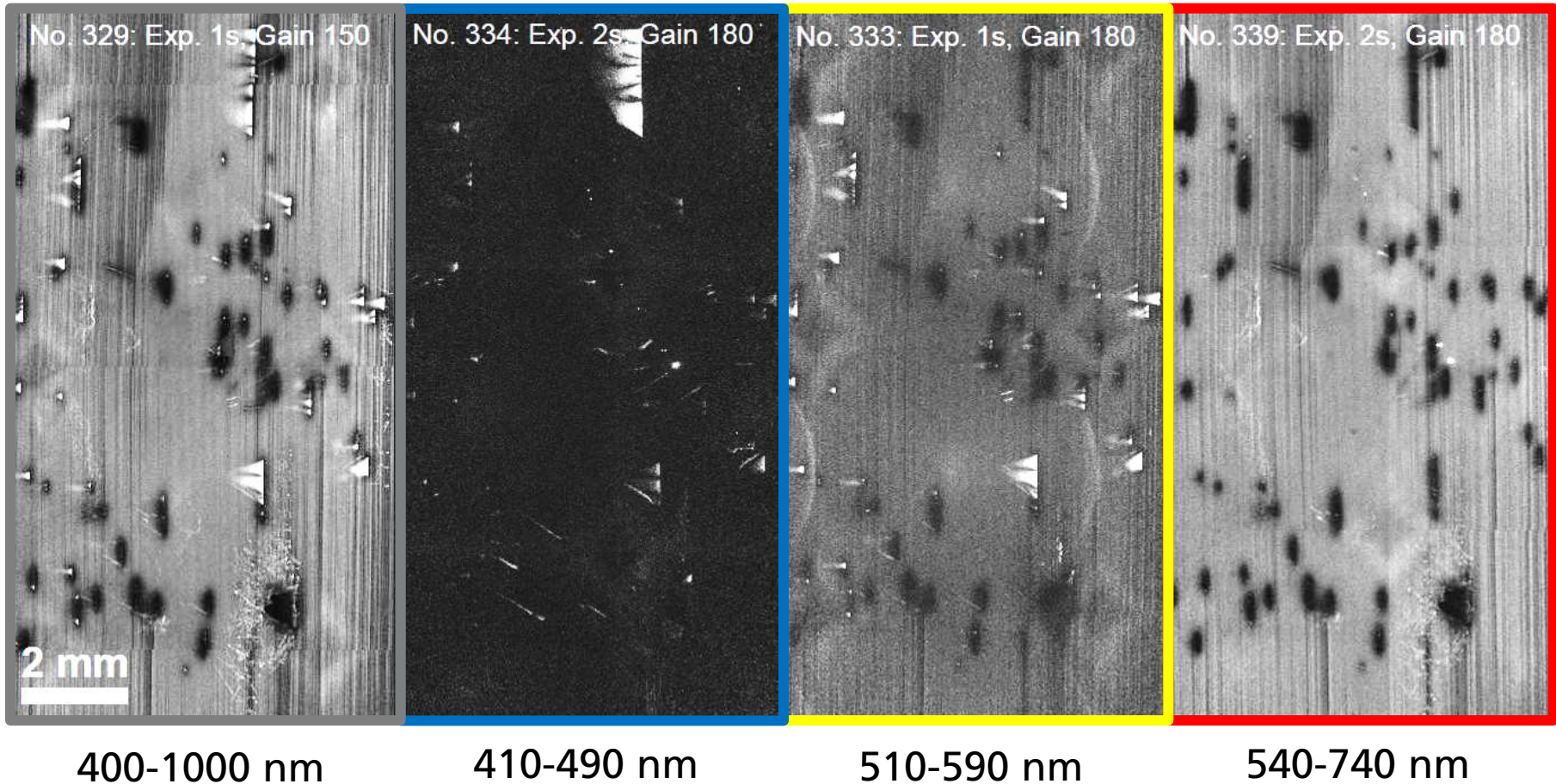


Panchromatisch

- Hellerer Bereich an Facette im Vergleich zur Umgebung
- Dotierungsinhomogenität?

Photolumineszenzmessungen an 4H-SiC

Wellenlängenspezifische Photolumineszenz



Zusammenfassung

Untersuchung der Defektlumineszenz in 4H-SiC Epitaxieschichten

- Implementierung eines Defektlumineszenzscanners für SiC (Prototyp)
 - Anwendungsorientiert, vollflächig, „state-of-the-art“ inline Charakterisierungstool

- Klassifizierung unterschiedlicher struktureller Epidefekte
 - Diverse Stapelfehler (Dunkle bzw. helle Dreiecke und Balken)
 - Mikroröhren, eingewachsene Partikel
 - Basalflächenversetzungen
 - *Threading dislocations* (einzeln bzw. Netzwerke)
 - Dotierungsinhomogenitäten
 - Kratzer
 - Ungeklärte Auffälligkeiten

- Untersuchungen zur spektralen Defektcharakteristik
 - Spektraler Fingerabdruck spezieller Defekttypen (optische Filter)

Ausblick

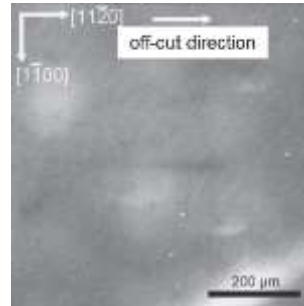
Technische Verbesserungen und weitere Untersuchungen

- Upgrade Defektlumineszenzscanner:
 - Beleuchtungsquellen für untersch. Anregungswellenlängen
 - Eindringtiefe (Untersuchung Defektursprung und Tiefe)
 - Automatisierte Defektauswertung und -klassifizierung
 - Homogenisierungsoptik (Rauschunterdrückung)
 - Dunkel- und Hellfeldbeleuchtung (Lichtmikroskop)
 - Hochauflösendes Mikroskop (5x, 10x, ...)
 - Zusätzl. Filter: $>750\text{ nm}$, $900 \pm 5\text{ nm}$

- Korrelationen zwischen PL-Mappings und...
 - Lichtmikroskop-Mappings (Dreiecksdefekte, Partikel, Makrodefekte)
 - Lebensdauer Messungen (Auswirkung auf effektive Lebensdauer)
 - KOH-geätzten Proben (TDs, BPDs)
 - Zeitaufgelöste-PL (spektral aufgelöste Messungen)

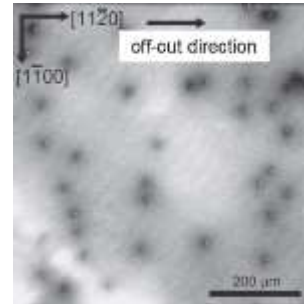
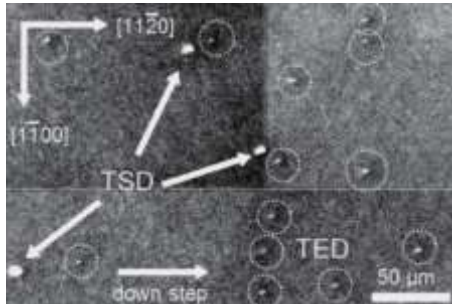
Ausblick

Einfluss von Punktdefekthaushalt auf PL von Versetzungen



Wie gewachsen

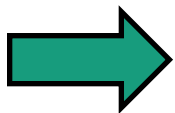
- Keine Auffälligkeiten in UV-PL



Thermisch behandelt

- Abbildung von Stufen- und Schraubenversetzungen

Punktdefekthaushalt beeinflusst Photolumineszenz von Versetzungen



Studien zur thermischen Oxidation und Ausheilung am IISB

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Diese Arbeit ist Teil des SiCWinS-Projekts und wird durch die Bayerische Forschungstiftung (BFS) finanziert (AZ-1028-12).



Bayerische
Forschungstiftung