

# Aktivierung von implantiertem Mg in GaN

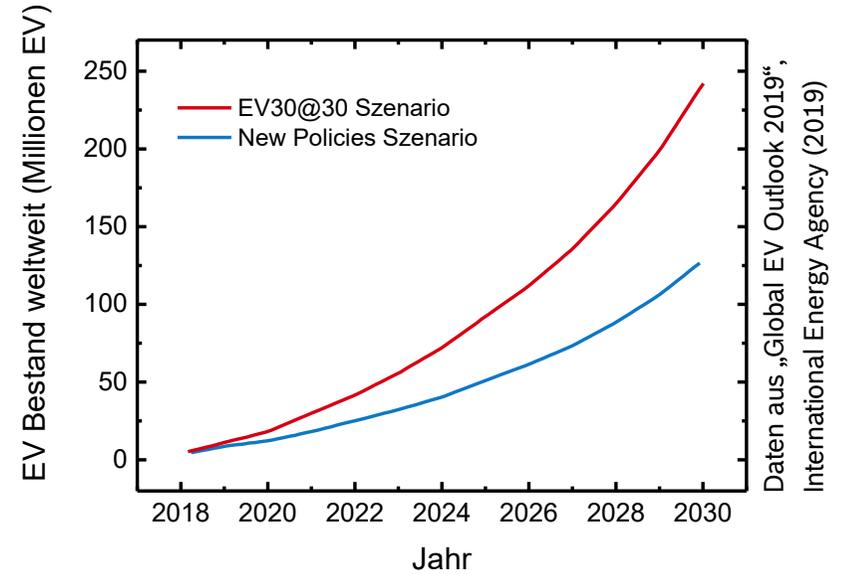
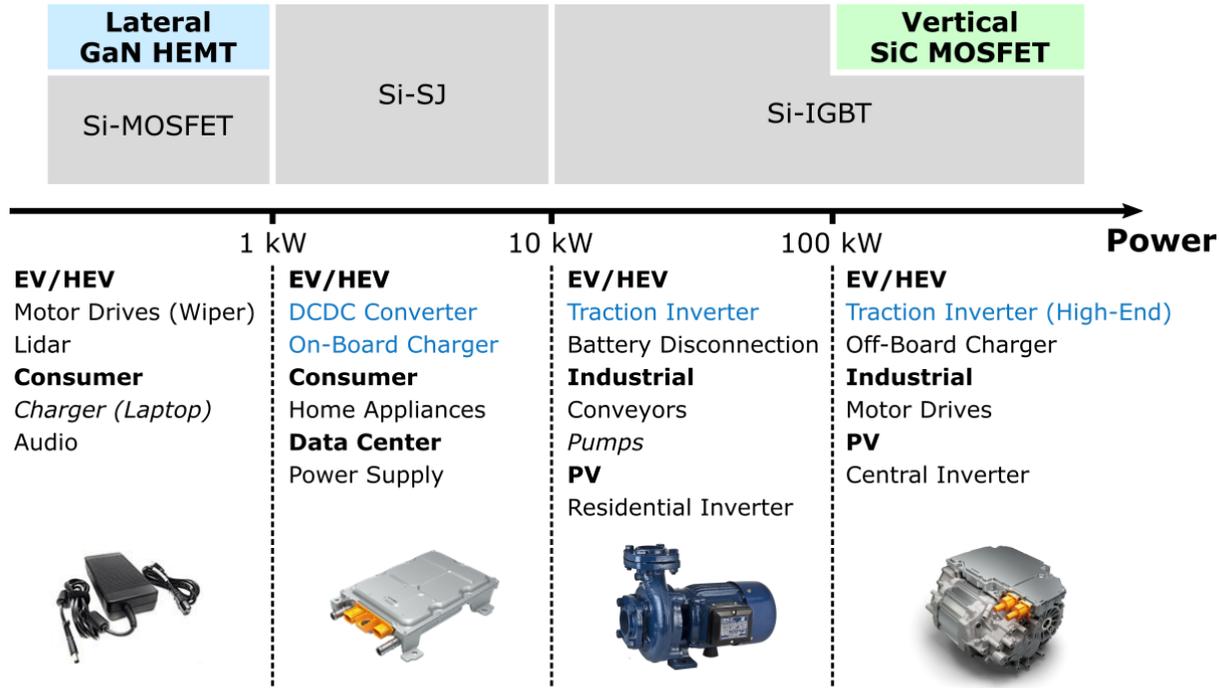
Ein zentraler Prozessschritt für neue Automotive  
Leistungstransistoren

Blitzlab Symposium  
Ultrakurzzeitprozessierung: Transfer in die Industrie

Dr. Christian Huber  
Robert Bosch GmbH  
Zentrale Forschung und Vorauentwicklung  
Abteilung Advanced Technologies and Micro Systems

# Blitzlab Symposium

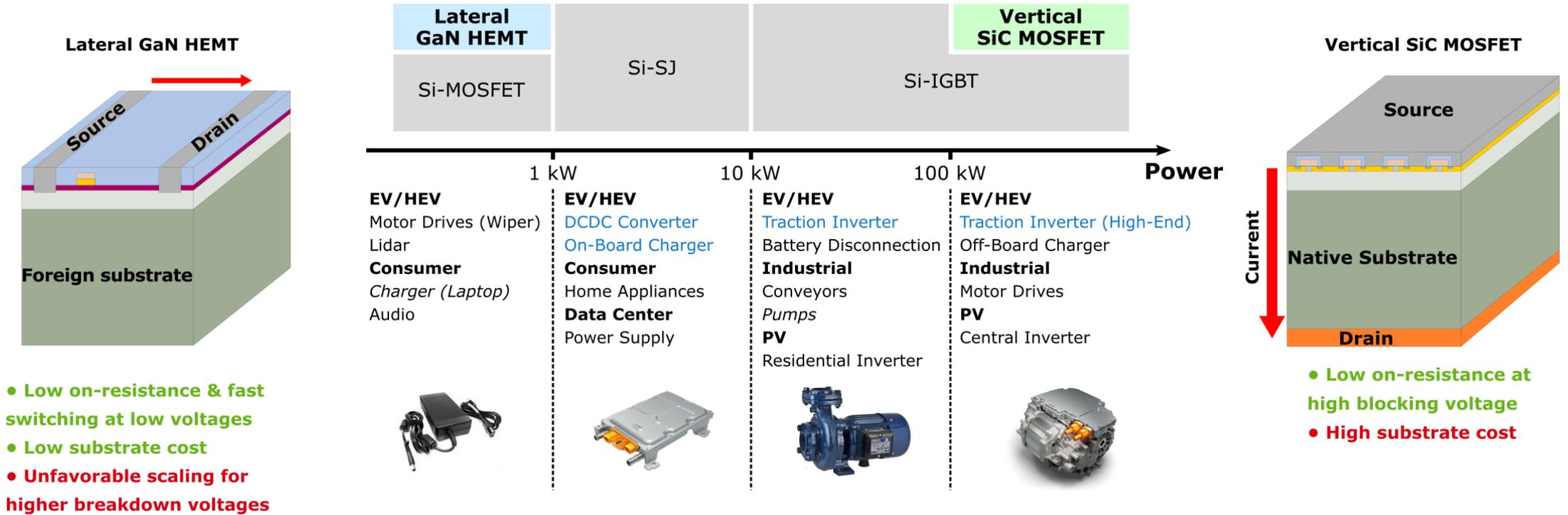
## Anwendungen für vertikale GaN Leistungstransistoren



**E-Mobilität bringt große Wachstumschancen für Anwendungen, die durch aktuelle laterale GaN- und vertikale SiC-Leistungstransistoren nicht bedient werden.**

# Blitzlab Symposium

## Anwendungen für vertikale GaN Leistungstransistoren

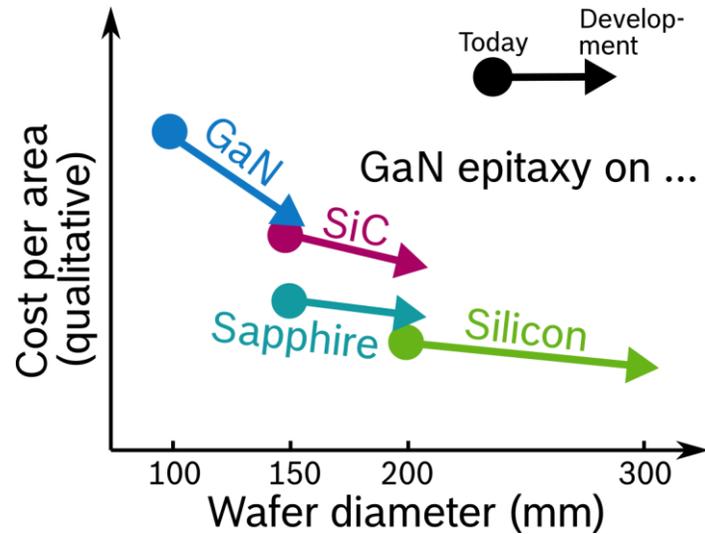


Warum gibt es noch keine vertikalen Galliumnitrid Leistungstransistoren?

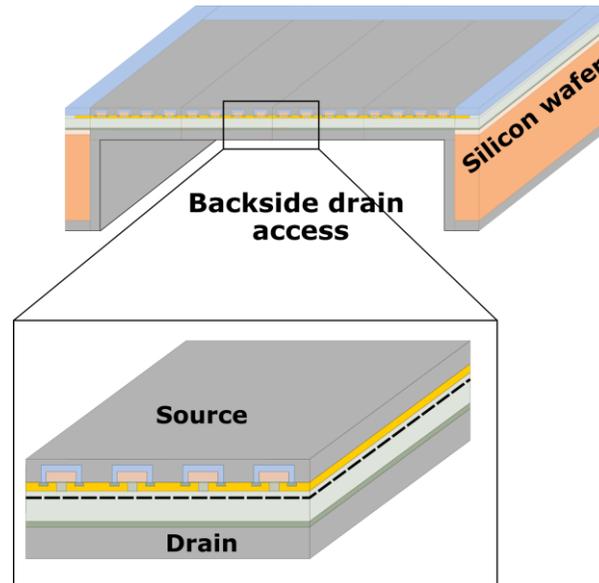
# Blitzlab Symposium

## Vertikale GaN Transistoren auf Fremdsubstraten

Kostenstruktur von Substraten für GaN Epitaxie



Vertikale GaN-on-Si Membrantransistoren



Wide Band Gap Power at Silicon Cost



[YESvGaN.eu](http://YESvGaN.eu)



@YESvGaN



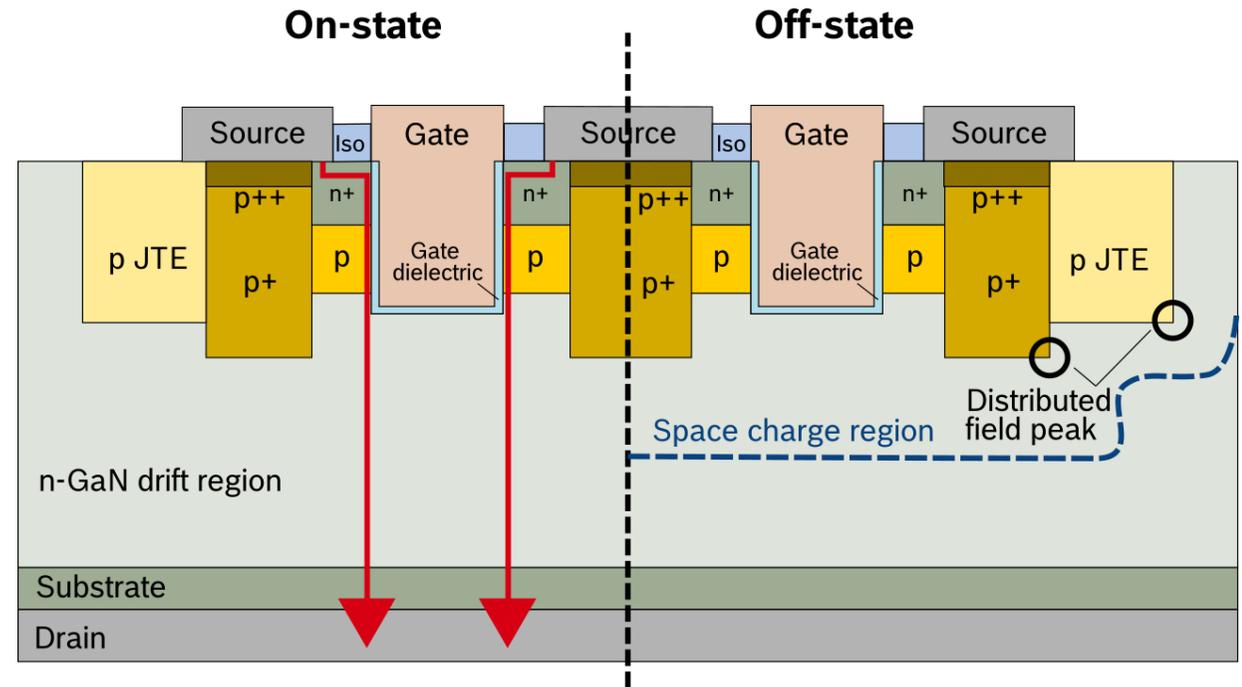
This project has received funding from the ECSEL Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 101007229. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research & innovation programme and Germany, France, Belgium, Austria, Sweden, Spain, Italy

Hetero-epitaktisches Wachstum von GaN auf Fremdsubstraten ermöglicht Kostenersparnis aber benötigt eine neue Membrantransistortechnologie für den vertikalen Stromfluss.

# Blitzlab Symposium

## Ortsselektive Implantation für Leistungs-MOSFETs

- ▶ N+ Source (flach < 300 nm,  $\geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )  
→ Stromeinspeisung in den Transistor
- ▶ P-Kanal (500 – 800 nm,  $\approx 10^{17} - 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )  
→ beeinflusst Schaltverhalten über Schwellspannung und Kanalmobilität
- ▶ P+ Screen (tiefer als p-Kanal,  $> 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )  
→ definiert pn- Diode im Sperrfall
- ▶ P+ Kontakt (oberflächlich,  $\geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )  
→ erleichtert Ankontaktierung Kanal/Screen
- ▶ P-Randabschluss ( $< 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )  
→ reduziert elektrische Feldpeaks am Transistorrand



Dotierelemente für GaN: Si → n-GaN, Mg → p-GaN

**Vertikale GaN MOSFETs benötigen ortsselektive Implantation und Aktivierung von Silizium und Magnesium in einem breiten Konzentrationsbereich.**

# Blitzlab Symposium

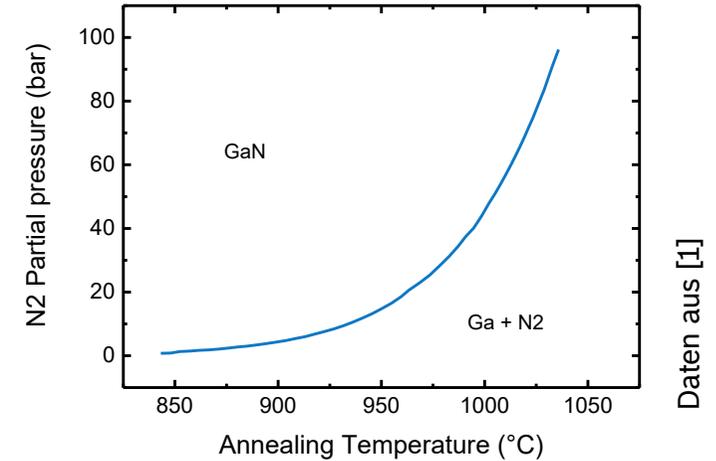
## Herausforderungen bei der Aktivierung von implantiertem Mg

### Grundproblem

- ▶ Effiziente Aktivierung bei  $\sim 2/3$  der Schmelztemperatur  
→ 1400 °C – 1500 °C für GaN
- ▶ GaN Oberfläche zersetzt sich in Ga + N<sub>2</sub> bei  $\sim 850$  °C und Atmosphärendruck
  - ▶ Degradation der Oberfläche
  - ▶ Stickstofffehlstellen als Donatoren kompensieren Mg Akzeptoren
- ▶ Diffusion von Mg bei hohen Temperaturen + langen Prozesszeiten

### Speziell für GaN-Heteroepitaxie auf Fremdsubstraten

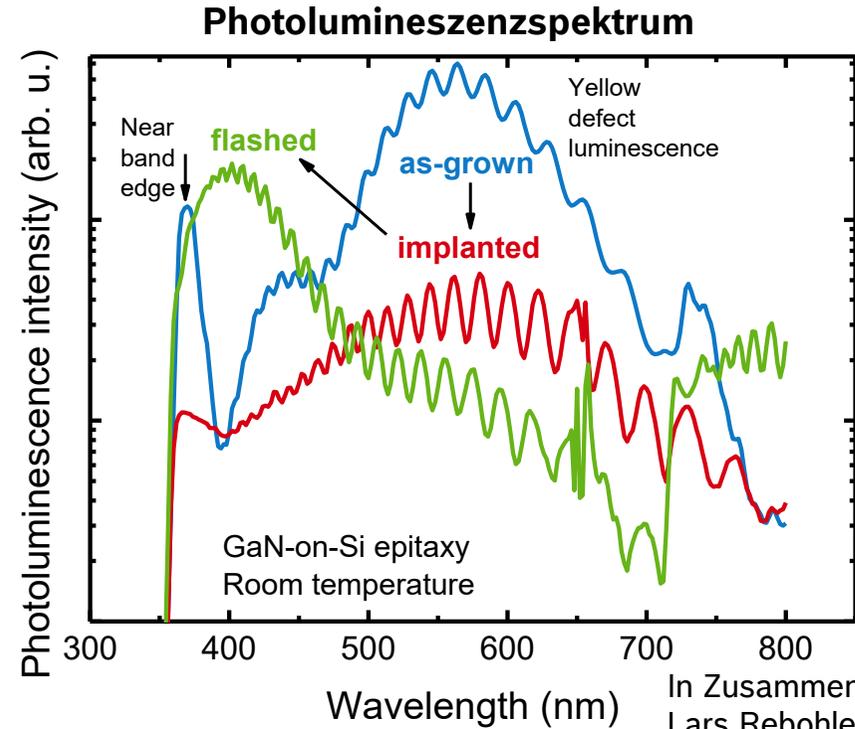
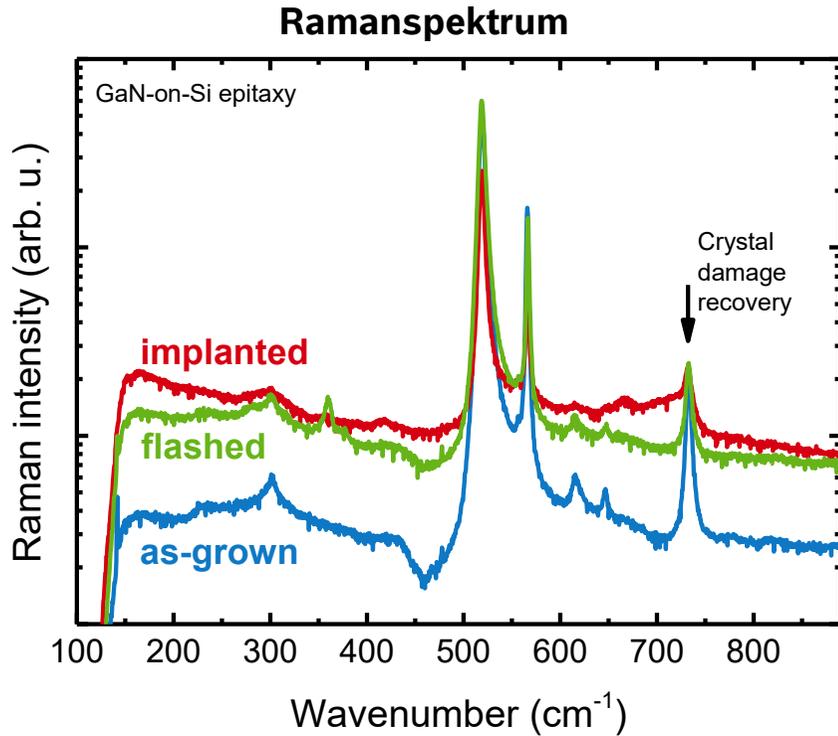
- ▶ CTE-Mismatch zwischen GaN und Fremdsubstrat → Waferbow/Waferbruch bei hohen Aktivierungstemperaturen
- ▶ Schmelzpunkt Substrat (Silizium  $\sim 1400$  °C)
- ▶ Höhere Defektdichte in Epitaxie → zusätzliche Diffusionsmechanismen



Subs.	GaN	Si(111)	Sapphire	SiC
CTE (ppm/K)	5,59	2,59	7,5	4,2
CTE mismatch	-	54%	-34%	25%

Daten aus [2]

**Berichte über erfolgreiche Mg Aktivierung gab es erst in den letzten Jahren und ausschließlich auf GaN-Substraten. Heteroepitaxie resultiert in zusätzlichen Herausforderungen.**



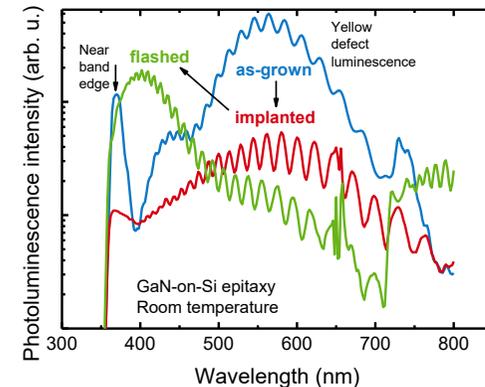
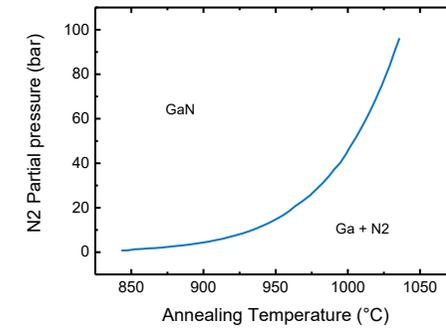
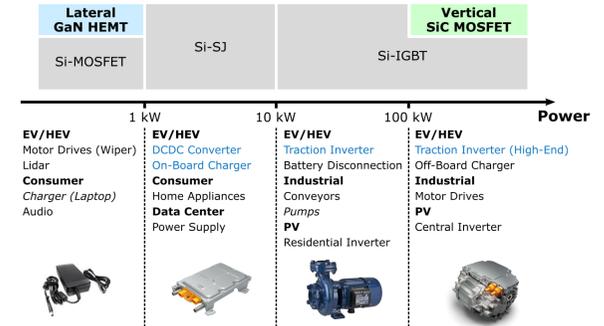
In Zusammenarbeit mit  
Lars Rebohle und  
Slawomir Prucnal (Blitzlab)

**Blitzlampenausheilung von GaN-on-Si nach Implantation zeigt eine deutliche Wiederherstellung der Kristallstruktur sowie zusätzliche Lumineszenz unterhalb der Bandlücke als ersten Schritt zur Implantaktivierung.**

# Blitzlab Symposium

## Zusammenfassung

- ▶ Hohes Wachstumspotential für Wide Band Gap Leistungselektronik durch E-Mobilität
- ▶ GaN für Automotive Anwendungen benötigt vertikale Transistorarchitekturen und hierfür ortselektive Implantation
- ▶ Problem I: Hohe GaN-Substratkosten bei kleinen Substraten  
→ Mögliche Lösung: Heteroepitaxie auf günstigen Substraten
- ▶ Problem II: Aktivierung von implantiertem Magnesium nicht industriell verfügbar  
→ Mögliche Lösung: Ultrakurzzeitprozessierung
- ▶ Ausheilung von Kristallschäden für GaN auf Silizium durch die Blitzlampe mittels Photolumineszenz- und Ramanspektroskopie bestätigt



# Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Christian Huber  
Robert Bosch GmbH  
Zentrale Forschung und Voraentwicklung  
christian.huber3@de.bosch.com

**Shape tomorrow's future  
and be part of innovative  
sensing solutions at  
Bosch.  
Apply now!**



Bosch Automotive Electronics



Bosch Sensortec



Bosch Corporate Research