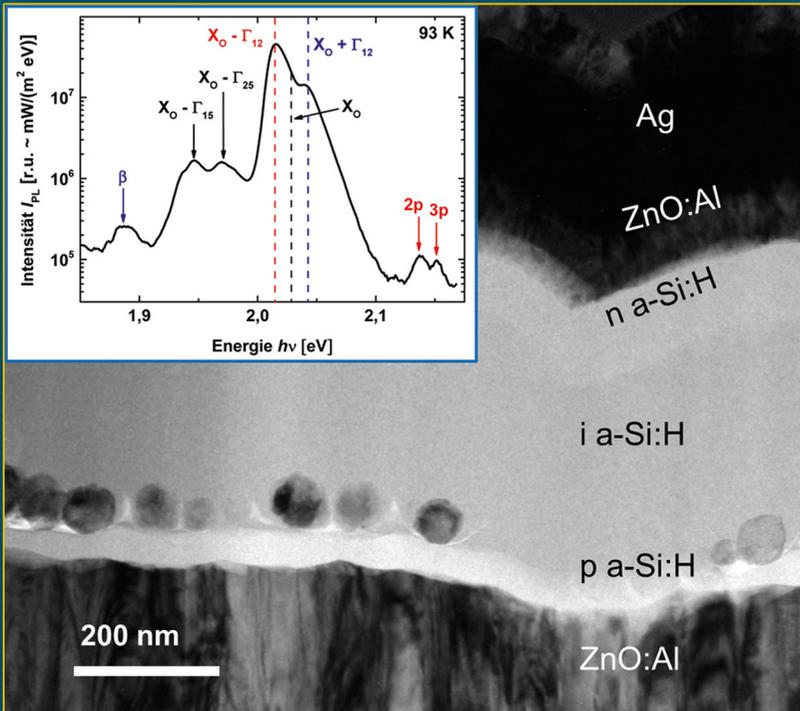


# Charakterisierung und Modifizierung von Kupferoxid- und Kupfersulfid-Nanopartikeln für Dünnschichtsolarzellen

Jan Flohre



Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
IEK-5 Photovoltaik

# Charakterisierung und Modifizierung von Kupferoxid- und Kupfersulfid-Nanopartikeln für Dünnschichtsolarzellen

Jan Flohre

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 379

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-241-2

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Raman-Spektroskopie . . . . .	5
2.2	Photolumineszenz . . . . .	6
2.2.1	Bandstruktur von Halbleitern . . . . .	6
2.2.2	Rekombinationsprozesse in Halbleitern . . . . .	8
2.2.3	Der von Halbleitern emittierte Photonenfluss . . . . .	10
2.3	Photothermische Deflektionsspektroskopie . . . . .	11
2.4	Transmissionselektronenmikroskopie . . . . .	13
2.5	Röntgendiffraktometrie . . . . .	14
2.6	Mikro-Raman- und PL-Messplatz . . . . .	14
2.6.1	Experimentelle Durchführung . . . . .	15
2.6.2	Datenkorrektur . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Material Eigenschaften</b>	<b>19</b>
3.1	Materialeigenschaften von Kupferoxid . . . . .	19
3.1.1	Historisches . . . . .	20
3.1.2	Cu <sub>2</sub> O-Bandstruktur . . . . .	20
3.1.3	Cu <sub>2</sub> O-Absorptionskoeffizient . . . . .	21
3.1.4	Photolumineszenz von Cu <sub>2</sub> O . . . . .	24
3.1.5	Raman-Moden von Cu <sub>2</sub> O . . . . .	26
3.2	Materialeigenschaften von CuO . . . . .	27
3.2.1	Absorptionskoeffizient von CuO . . . . .	28
3.2.2	Lumineszenz von CuO . . . . .	28
3.2.3	Raman-Moden von CuO . . . . .	29
3.3	Materialeigenschaften von Kupfersulfid . . . . .	29
3.3.1	Phasendiagramm von Kupfersulfid . . . . .	30
3.3.2	Historisches . . . . .	32
3.3.3	Bandstruktur von Kupfersulfid . . . . .	33
3.3.4	Absorptionskoeffizient von Kupfersulfid . . . . .	34
3.3.5	Freie Ladungsträger und lokalisierte Oberflächenplasmonen im Kupfersulfid . . . . .	35
3.3.6	Lumineszenz von Kupfersulfid . . . . .	37

---

3.3.7	Raman-Moden von Kupfersulfid . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Charakterisierung und Modifizierung von Kupferoxid-Nanopartikeln</b>	<b>41</b>
4.1	Zusammenfassung der bisherigen Arbeiten . . . . .	41
4.2	Laserbehandlung von CuO-Nanopartikeln . . . . .	47
4.2.1	Laserbehandlung in Luft . . . . .	49
4.2.2	Laserbehandlung in Stickstoffatmosphäre . . . . .	50
4.2.3	Temperaturbestimmung im Laserfokus . . . . .	52
4.3	Voruntersuchungen . . . . .	56
4.3.1	Homogenität der Cu <sub>2</sub> O-Probe . . . . .	56
4.3.2	Leistungsabhängigkeit des PL-Signals . . . . .	58
4.4	Temperaturabhängigkeit der PL von Cu <sub>2</sub> O . . . . .	59
4.4.1	Defektmission . . . . .	62
4.4.2	Anregung in die Cu <sub>2</sub> O-Defektzustände . . . . .	64
4.4.3	Detaillierte Studie der exzitonischen PL und Vergleich mit Daten der Literatur . . . . .	66
4.4.4	Mikroerspannungen und lokale Defekte bei 100 K . . . . .	70
4.4.5	Temperaturabhängigkeit der PL-Intensität . . . . .	73
4.5	Temperaturabhängigkeit der PL von CuO . . . . .	78
4.6	Kupferoxid Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Charakterisierung und Modifizierung von Kupfersulfid-Nanopartikeln</b>	<b>87</b>
5.1	Kupfersulfid-Nanopartikel der Ruhr-Universität Bochum . . . . .	87
5.1.1	Charakterisierung der unbehandelten Kupfersulfid- Nanopartikel mit TEM und XRD . . . . .	87
5.1.2	Absorption der unbehandelten Kupfersulfid-Nanopartikel .	91
5.1.3	PL- und Raman-Signale der unbehandelten Kupfersulfid- Nanopartikel . . . . .	94
5.1.4	Leistungsabhängigkeit des PL-Signals von unbehandelten Kupfersulfid-Nanopartikeln . . . . .	97
5.2	Temperaturbehandlung der Kupfersulfid-Nanopartikel . . . . .	98
5.2.1	Laserbearbeitung der Kupfersulfid-Nanopartikel . . . . .	98
5.2.2	Temperaturbehandlung der Kupfersulfid-Nanopartikel im Ofen . . . . .	102
5.2.3	Absorption der getemperten Kupfersulfid-Nanopartikel . .	103
5.2.4	PL der getemperten Kupfersulfid-Nanopartikel . . . . .	106
5.3	Temperaturabhängigkeit der PL von Kupfersulfid-Nanopartikeln .	113
5.3.1	Temperaturabhängigkeit der PL von unbehandelten Kupfersulfid-Nanopartikeln . . . . .	113
5.3.2	Temperaturabhängigkeit der PL von getemperten Kupfersulfid-Nanopartikeln . . . . .	115
5.4	Einbetten der Kupfersulfid-Nanopartikel in amorphes Silizium . .	119
5.5	Kupfersulfid Diskussion und Zusammenfassung . . . . .	124

---

<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>129</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>133</b>
<b>Danksagung</b>	<b>i</b>

---

**Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 379  
ISBN 978-3-95806-241-2**

