

# Herstellung von II-VI Quantendrähten mit optischer Emission im blauen Spektralbereich

G. Brunthaler, H. Straub, W. Faschinger, G. Bauer  
Institut für Halbleiterphysik, Universität Linz,  
A-4040 Linz

CdTe/Cd<sub>0,15</sub>Zn<sub>0,85</sub>Te und Cd<sub>0,22</sub>Zn<sub>0,78</sub>Se/ZnSe Quantentopfstrukturen wurden mittels Reaktivem Ionenätzen lateral strukturiert. Die drahtförmigen, lateralen Strukturen waren durch Elektronenstrahlbelichtung in Polymethylmethacrylat (PMMA) definiert worden und in eine Titan-Ätzmaske übertragen. Die so hergestellten Quantendrähte zeigten eine Photolumineszenzemission bis zu den kleinsten Strukturen mit 60 nm Breite. Die größeren Strukturen mit ca. 500 nm zeigten sogar eine Erhöhung der normierten Photolumineszenzintensität für freie und gebundene Exzitonen in CdTe/Cd<sub>0,15</sub>Zn<sub>0,85</sub>Te. Auch die breite Emissionsbande in Cd<sub>0,22</sub>Zn<sub>0,78</sub>Se/ZnSe zeigte eine Erhöhung im Vergleich zur nicht strukturierten Quantentopfstruktur. Die Erhöhung der Lumineszenzintensität wird der Defektkompensation und Ausheileffekten beim Reaktiven Ionenätzen zugeschrieben.

## 1. Einleitung

Durch die Realisierung von II-VI Halbleiterlasern [1], [2] mit Emission im blau-grünen Spektralbereich hat die Untersuchung der optischen Eigenschaften von II-VI Quantendrähten eine große Bedeutung erlangt. Die größenabhängigen Effekte spielen eine wichtige Rolle für Lichtemitter aus Nanostrukturen wie z.B. eindimensionale Laser mit kleinem Schwellwert. In diesem Beitrag wird über die Erzeugung und die optische Charakterisierung von CdZnTe und CdZnSe Nanostrukturen berichtet, die mit Elektronenstrahlithographie und Reaktivem Ionenätzen (RIE) mit Methan/Wasserstoff Ätzgasen hergestellt wurden.

## 2. Probenherstellung

Die CdZnTe Heterostruktur wurde in Grenoble mittels Molekularstrahlepitaxie (MBE) auf GaAs (001) Substrat hergestellt und besteht aus einer 2 µm dicken Cd<sub>0,85</sub>Zn<sub>0,15</sub>Te Pufferschicht, einer 15 Å dicken ZnTe Barriere, einem 130 Å CdTe Quantentopf, einer weiteren 15 Å ZnTe Barriere und einer 100 nm Cd<sub>0,85</sub>Zn<sub>0,15</sub>Te Deckschicht. Die CdZnSe Heterostruktur wurde in Linz mittels MBE auf GaAs Substrat hergestellt und besteht aus einer 1.3 µm dicken ZnSe Pufferschicht, einem 100 Å Cd<sub>0,22</sub>Zn<sub>0,78</sub>Se Quantentopf und einer 150 nm ZnSe Deckschicht.

Mittels Elektronenstrahlithographie wurden 40 µm x 40 µm große Streifenstrukturen mit unterschiedlicher Breite in eine 150 nm dicke Polymethylmethacrylat (PMMA) Schicht geschrieben. Nach Aufdampfen einer 40 nm dicken Titan-Schicht wurde ein Lift-off Prozeß durchgeführt, sodaß metallische Streifen mit einem Flächenfüllfaktor zwischen 0.5 und 0.15 auf den Proben übrig blieben. Diese Struktur wurde mittels Reaktivem Ionenätzen in die Heterostruktur übertragen.

Für das Reaktive Ionenätzen wurde ein Oxford 80 plus Parallelplattenreaktor mit CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>-Gas bei einer Leistung von 180 W (Gleichspannung von 660 V) verwendet. Die CdZnTe Probe wurde 8 min bei einem CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> Gasmischung mit einem Volumenver-

hältnis von 1:8 und einem Druck von 15 mTorr, die CdZnSe Probe 20 min bei einem Gasgemisch von 1:6 und 25 mTorr geätzt. Diese Ätzparameter waren in einer Reihe von Vorversuchen als die am besten geeigneten für CdZnTe und CdZnSe Verbindungen ermittelt worden. Die geätzten Strukturen mit einer Breite von 80 bzw. 70 nm und einer Tiefe von 160 bzw. 330 nm sind in Abb. 1a und b dargestellt. In den CdZnTe-Verbindungen ergibt sich typischerweise ein leichtes Unterätzen, während in den CdZnSe-Verbindungen eine Verbreiterung der Struktur nach unten zu beobachten ist.

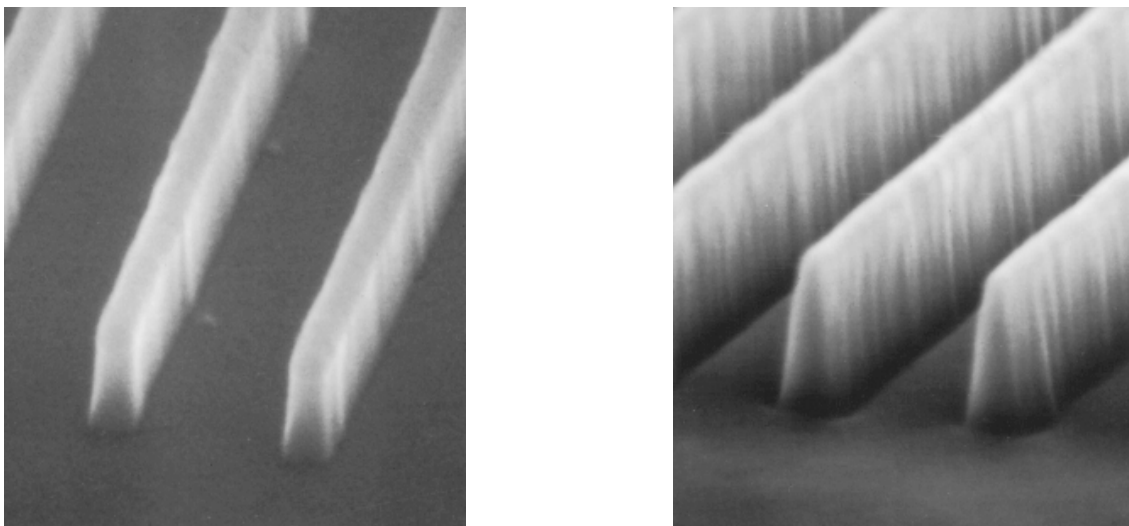


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopaufnahmen mit 75'000-facher Vergrößerung von a) 80 nm breiten CdTe/Cd<sub>0.85</sub>Zn<sub>0.15</sub>Te Quantendrähten, die ein geringes Unterätzen zeigen. b) 70 nm breiten Cd<sub>0.22</sub>Zn<sub>0.78</sub>Se/ZnSe Quantendrähten mit typischer Oberflächenrauigkeit.

### 3. Experimentelle Untersuchungen und Diskussion

Die Photolumineszenz (PL) Untersuchungen bei 1.8 K wurden mit einer lateralen Auflösung von 20  $\mu\text{m}$  (Durchmesser des Laserfokus) durchgeführt. Bei der CdZnTe Probe wurde der CdTe Quantentopf mit Hilfe eines Ti:Saphir Lasers bei einer Energie von 1.648 eV resonant angeregt. Die PL Spektren der Quantendrähte mit Breiten von 950 bis 60 nm und der 2D Referenz sind in Abb. 2a dargestellt. Die Spektren werden von den freien Exzitonen ( $e_1h_1$ ) und den gebundenen Exzitonen (Y), die sich um 4 meV [3] in der Energie unterscheiden, dominiert.

Die Quantendraht-Spektren unterscheiden sich von dem der 2D Referenz durch (i) eine geringe Blauverschiebung und eine Intensitätsabnahme des  $e_1h_1$  Überganges, (ii) eine Intensitätszunahme der gebundenen Y-Linie und eine asymmetrischen Verbreiterung der Y-Linie für kleine Strukturen. Die Blauverschiebung des freien Exzitons (i) kann durch Interdiffusion und Vermischung von CdTe/ZnTe [4] erklärt werden. Die Zunahme der Y-Linie (ii) kann durch RIE induzierte Ausheilprozesse von Störstellen oder Gitterdefekten erklärt werden, da zusätzlich auch der durch Defekte hervorgerufene Übergang bei 1.58 eV verschwindet. Die Verbreiterung der Y-Linie bis zu 10 meV für die kleinsten Strukturen (60 nm) kann als Auswirkung von Dickenfluktuationen von ungefähr 15 nm auf das laterale Confinement erklärt werden.

Im Insert von Abb. 2a ist die Abhängigkeit der normierten Intensität der  $e_1h_1$  und der Y Linie als Funktion der Strukturbreite dargestellt. Für die breiteren Strukturen (bis hinab zu 180 nm) nimmt die normierte Intensität mit abnehmender Breite für die  $e_1h_1$  und die Y-Linie um einen Faktor 4 bzw. 10 zu. Die Zunahme der Gesamtintensität (inklusive der Übergänge bei 1.58 eV, die den Defekten zugeordnet werden) beträgt nur einen Faktor 5 und deutet auf eine Verlagerung der Emission durch Umwandlung von Defektzentren hin.

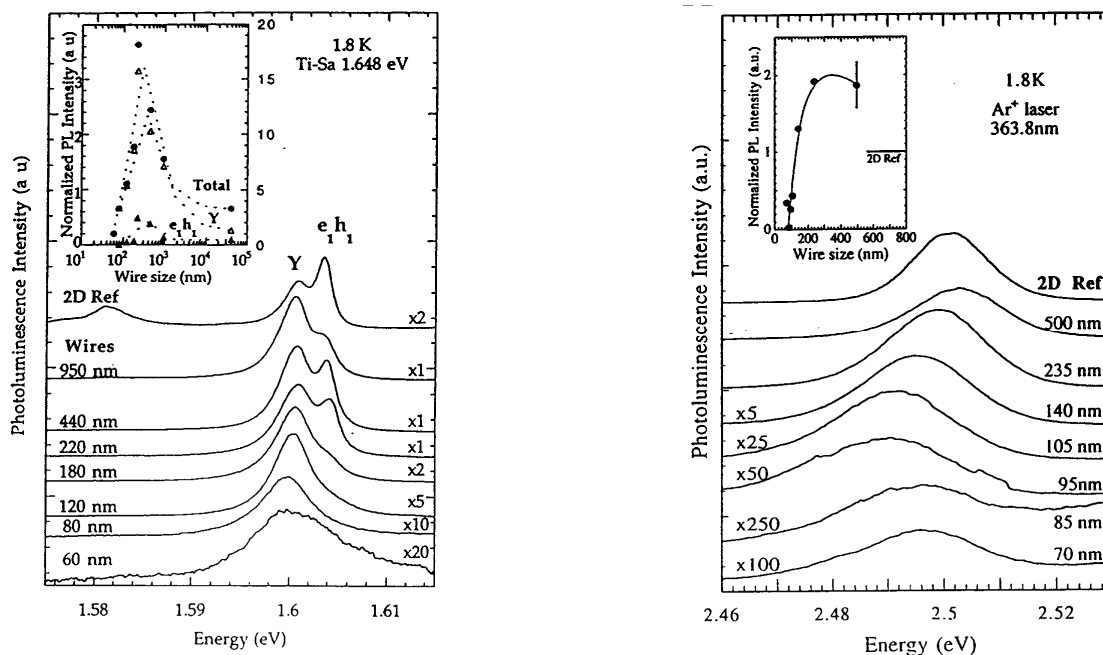


Abb. 2: a) Photolumineszenzspektren bei 1.8 K von  $\text{CdTe}/\text{Cd}_{0.15}\text{Zn}_{0.85}\text{Te}$  Quantentopfdrähten mit Größen von 60 bis 950 nm und einer 2D Referenzstruktur. Im Insert ist die gegen die Drahtgröße aufgetragene normierte Intensität für die freien ( $e_1h_1$ ) und gebundenen (Y) Exzitonen zusehen. b) Photolumineszenzspektren bei 1.8 K von  $\text{Cd}_{0.22}\text{Zn}_{0.78}\text{Se}/\text{ZnSe}$  Quantentopfdrähten mit Größen von 70 bis 500 nm und einer 2D Referenzstruktur. Im Insert ist die gegen die Drahtgröße aufgetragene normierte Intensität zusehen.

Die Photolumineszenz der  $\text{CdZnSe}$  Struktur wurde mit der 3.409 eV (363.8 nm) Linie eines Ar-Ionenlaser bei 1.8 K angeregt. In Abb. 2b sind die PL Spektren für Quantendrähte mit einer Dicke von 70 bis 500 nm dargestellt. Da die Linienbreite in dieser Probe, die im blauen Spektralbereich emittiert, 16 meV beträgt, können die freien und gebundenen Exzitonen nicht aufgelöst werden. Die Linienbreite nimmt noch um bis zu 40% für die dünneren Strukturen zu. Für die größeren Strukturen bis hinab zu 95 nm ist eine Rotverschiebung bis zu 11 meV zu beobachten, während es für die kleineren Strukturen mit 85 und 70 nm zu einer geringen Blauverschiebung kommt. Eine Rotverschiebung wurde bereits von Walecki et al. [5] beobachtet und wurde dort durch Veränderungen der lokalen Gitterverspannung durch das Ätzen erklärt.

Im Insert von Abb. 2b ist die Abhängigkeit der normierten Intensität von der Dicke des  $\text{CdZnSe}$  Quantendrähte dargestellt. Auch hier ist für die breiteren Strukturen eine Zunahme der Intensität bis zu einem Faktor zwei im Vergleich zu den unstrukturierten Quantentöpfen zu beobachten. Es wird auch hier ein Ausheileffekt der Defekte durch

die RIE Behandlung vermutet. Für die kleineren Strukturen wird eine Intensitätsabnahme um bis zu zwei Größenordnungen beobachtet.

Die Zunahme der normierten Photolumineszenzintensität für die breiteren Quantendrähte wird also sowohl in der CdZnTe als auch der CdZnSe Struktur beobachtet. Über eine derartige Zunahme wurde weder für CdTe/CdMgTe [6] noch für CdZnSe/ZnSSe [7] Quantendrähte in der Literatur berichtet. Nur für CdZnTe Strukturen, die mittels Ar Ionenstrahlätzen hergestellt wurden [4], wird über eine schwache Zunahme berichtet. Die CdTe/CdMgTe Quantendrähte wurden naßchemisch geätzt und zeigten eine Intensitätsabnahme um bis zu drei Größenordnungen für die kleinsten Strukturen von 40 nm.

#### 4. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden CdTe/Cd<sub>0,85</sub>Zn<sub>0,15</sub>Te und Cd<sub>0,22</sub>Zn<sub>0,78</sub>Se/ZnSe Quantendrähte mittels Elektronenstrahlbelichtung und Reaktivem Ionenätzen hergestellt. Die Photolumineszenz der Strukturen mit lateralen Dimensionen von 60 bis 950 nm zeigt eine Zunahme der Intensität für freie und gebundene Exzitonen in CdZnTe und für die breitere Emission in CdZnSe im Vergleich zur 2D Referenz. Diese Intensitätszunahme wird dem Ausheilen von Defekten zugeschrieben. Für die kleinsten Strukturen ist aber erwartungsgemäß eine starke Abnahme der Emission zu beobachten.

#### Danksagung

Die Elektronenstrahlolithographie wurde von C. Vieu am CNRS in Bagnex, Frankreich, durchgeführt. Die CdZnTe-Quantentopfprobe wurde von C. Gourgon, Le Si Dang und H. Mariette an der Universität Fourier, Grenoble, Frankreich, mittels MBE hergestellt und optisch charakterisiert. Die in Linz durchgeführte Arbeit wurde durch die Österreichische Nationalbank (Projekt 4575) und die Gemeinschaft für Mikroelektronik ermöglicht.

#### Literaturverzeichnis

- [1] M.A. Haase, J. Qiu, J.M. DePuydt, H. Cheng, *Appl. Phys. Lett.* 59, 1272 (1991).
- [2] H. Jeon, J. Ding, W.R. Patterson, A.V. Nurmikko, W. Xie, D.C. Grillo, M. Kobayashi, R.L. Gunshor, *Appl. Phys. Lett.* 59, 3619 (1991).
- [3] R.T. Cox, A. Mandray, S. Huant, F. Bassani, K. Saminadayar, S. Tatarenko, *Mater. Sci. Eng. B* 16, 83 (1993).
- [4] C. Gourgon, B. Eriksson, Le Si Dang, H. Mariette, C. Vieu, *J. Cryst. Growth* 138, 590 (1994).
- [5] W. Walecki, W.R. Patterson, A.V. Nurmikko, H. Luo, N. Samarth, J.K. Furdyna, M. Kobayashi, S. Durbin, R.L. Gunshor, *Appl. Phys. Lett.* 57, 2641 (1990).
- [6] M. Illing, G. Bacher, A. Forchel, A. Waag, T. Litz, G. Landwehr, *J. Cryst. Growth* 138, 638 (1994).
- [7] J. Ding, A.V. Nurmikko, D.C. Grillo, Li He, J. Han, R.L. Gunshor, *Appl. Phys. Lett.* 63, 2254 (1993).