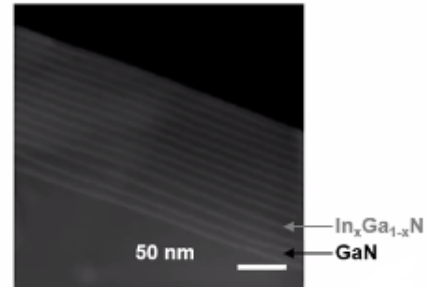


Examenvraag Vastestof- en nanofysica

Eerste Master Fysica en Sterrenkunde

januari 2009

Toepassingsvraag : eerste zittijd 2008-'09



Onderzoekers aan de Harvard Universiteit (Massachusetts) en Georgia State University (Atlanta) stelden een nieuw ontwerp voor nanodraad kwantumputlaseren voor, dat een groot bereik in emissie golflengte (365 – 494 nm) toelaat (*“Multi-quantum-well nanowire heterostructures for wavelength-controlled lasers”*, Fang Qian et al., *Nature Materials* 7, p. 701-706, september 2008). In bovenstaande figuur is dit ontwerp schematisch weergegeven. De zijde van de nanodraden met driehoekige doorsnede is steeds om en bij de 300 nm. De doorsnede bestaat uit een GaN “kern” waarop een “concentrische” multipele $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ kwantumput-structuur epitaxiaal gegroeid is. Een transmissie elektronen microscopie opname van de kwantumput oppervlakklaag voor een typische laser van dit type is eveneens te zien.

Welke ontwerpparameters bieden hier de mogelijkheid om de golflengte te sturen ?

Welke hiervan biedt, praktisch gezien, de grootste vrijheid (grootst mogelijk golflengtebereik) ? Waarom ?

Een eerste mogelijke ontwerpparameter is de breedte van de spacer lagen tussen de kwantumputten. Deze zal echter slechts een zeer kleine invloed hebben op de band gap en dus op de golflengte.

Een tweede mogelijkheid is de breedte van de kwantumputten zelf. Die heeft inderdaad een invloed op de opsluitingsenergie van de elektronen en gaten in $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$.¹ De invloed is echter nog redelijk klein, bij een putbreedte van ± 10 nm is de opsluitingsenergie ± 50 meV en door deze nog te verkleinen kan dit slechts in de orde van enkele tienden van een eV aangepast worden. Ook hebben de elektronen in nitriden een vrij grote effectieve massa, wat de energie nog eens verkleint ($E \sim 1/m^*$).

De ontwerpparameter die wel een vrij groot bereik heeft om de golflengte te sturen is de legeringsverhouding. De band gap van InN is ± 1.5 eV en die van GaN is ruim 3 eV, waardoor de band gap van $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ over bijna² deze volledige range gestuurd kan worden. De legeringsverhouding biedt dus de grootste vrijheid om de golflengte te wijzigen.

¹De e^- en h^+ zitten inderdaad in de $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -lagen, omdat de band gap van InN kleiner is dan die van GaN en daardoor die van $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dus ook.

² x mag niet 0 zijn, dan is het geen legering meer