

Dissertation
Submitted to the
Combined Faculties for the Natural Sciences and for Mathematics
of the Ruperto-Carola University of Heidelberg, Germany
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

Presented by

Beri Nsoyani Mbenkum, M.Sc. Physics
Born in : Yaounde, Centre, Cameroon.

Oral examination: July 23rd, 2007.

**On the Anomalies in Gold Nanoparticles Prepared by
Micelle Nanolithography and
Their Impact on One-Dimensional Material Synthesis
– Role of Substrate, Size Effects and Impurity–**

Referees:

Prof. Dr. Joachim P. Spatz

Prof. Dr. Jörg Schmiedmayer

Die Synthese von eindimensionalen (1-D) anorganischen Halbleitern, wie Nanoröhrchen und Silizium (Si) Nanodrähten, erfolgt normalerweise durch katalytische Prozesse aus Nanopartikeln. Obwohl diese Technik der Synthese wohl bekannt ist, sind zum Beispiel noch Fragen bezüglich der Tieftemperatursynthese oder der Kontrolle über die Größe der Katalysepartikel welche den Durchmesser der 1-D Strukturen bestimmen offen. Zusätzlich ist die Umsetzung der Technologie von teuren kristallinen auf billige, etwa gläserne Substrate wünschenswert. Diese Arbeit verwendet die bereits etablierte Herstellung, über Selbstorganisation, von regelmäßig angeordneten Goldnanopartikeln mit definierter Größe auf Substraten. Dies ermöglichte es, Si 1-D Strukturen mit einem definierten Durchmesser von weniger als 20 nm zu produzieren. Tieftemperatursynthese war möglich durch die erhöhte Katalyseaktivität der Goldpartikel, nachdem sie gezielt mit Defekten in verschiedenen Plasmaumgebungen angereichert wurden. Dadurch wuchsen Si 1-D Strukturen aus Si, SiO_x/Si und Borosilikatglas-Substraten bei bereits 320°C. Spannungen, welche durch das Substrat induziert werden, beeinflussen die Si-Diffusion an den Goldnanopartikeln und bestimmen dadurch ob Nanoröhren oder Nanodrähte wachsen. Die gewonnenen Ergebnisse sind auch von technologischer Relevanz, da die Tieftemperatursynthese eine ökonomischere Herstellung erlaubt und die Kontrolle über den Durchmesser der Strukturen die Funktionsvielfalt erhöht. Zusätzlich kann man durch die Wahl der Substrat induzierten Spannungen und ihren Einfluss auf die Si-Diffusion die Art der Si 1-D Strukturen gezielt einstellen.

The synthesis of one-dimensional (1-D) inorganic semiconductor materials such as nanotubes and silicon (Si) nanowires is usually achieved by catalyst nanoparticle-mediated synthetic routes. Despite the well-established nature of this technique, problems such as low temperature synthesis and adequate control of catalyst nanoparticle diameter in order to control 1-D material diameter still prevail. Additionally, the expansion of this technology from crystalline to cheaper substrates such as glass remains demanding. This work employs a previously established self-assembly route to produce controlled spatial distribution of substrate anchored small diameter gold nanoparticles with controlled size. This enabled successful synthesis of Si 1-D structures with controlled diameters less than 20 nm. Low temperature synthesis due to enhanced catalytic activity was achieved via introduction of impurity by treatment of gold nanoparticles in different plasma environments. This enabled Si 1-D structure growth on Si, SiO_x/Si and borosilicate glass substrates at 320°C. Substrate-induced stress affected Si diffusion at the gold nanoparticle determining whether Si nanowires or nanotubes were grown. These results are of technological relevance because low temperature synthesis provides an economical approach and controlled diameter enhances material functionality. Additionally, exploiting substrate-induced stress to influence Si diffusion in nanoparticles provides an alternate route to tuning Si 1-D structure.