ETH zürich

ETH Library

Germanium Inseln auf modifizierten Silizium Oberflächen

Doctoral Thesis

Author(s):
Beyer, André

Publication date:
2002

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004453418

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH Nr. 14746

GERMANIUM INSELN AUF MODIFIZIERTEN SILIZIUM OBERFLÄCHEN

A B H A N D L U N G
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

André Beyer
Dipl. Phys., Technische Universität Dresden

geboren am 14. Juli 1973

von Deutschland

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. K. Ensslin, Referent
Prof. Dr. F. Schäffler, Korreferent
Priv. Doz. Dr. D. Grützmacher, Korreferent

2002

Kurzfassung

In dieser Doktorarbeit wurden die optischen Eigenschaften von Ge Inseln untersucht. Eine gezielte Beeinflussung der Lumineszenz erfolgte durch Änderung der Form und Umgebung der Inseln. Dazu wurden die Inseln auf zwei unterschiedlichen Wegen beeinflusst. Eine Möglichkeit entsteht aus der Verwendung von Kohlenstoffschichten. Durch den Bruchteil einer Monolage Kohlenstoff auf Si (001) ändert sich der Wachstumsmodus von Ge. Anstelle des Stranski-Krastanow-Wachstums erfolgt ein Volmer-Weber-Wachstum, d.h. bei der Abscheidung von Ge auf einer solchen kohlenstoffbelegten Si Oberfläche entsteht keine Benetzungsschicht, sondern die Inselbildung setzt unmittelbar ein. In dieser Arbeit wurde die Photolumineszenz (PL) solcher Inseln detailliert untersucht, wodurch das Verständnis für den Rekombinationsmechanismus verbessert werden konnte. Die intensive Lumineszenz der C-induzierten Ge Inseln entsteht durch die Rekombination von Elektronen in den C-reichen Gebieten mit Löchern in den Ge Inseln. Diese Interpretation folgt aus der PL Abhängigkeit der verwendeten C bzw. Ge Menge. Die Erhöhung der Ge Menge vergrösserte die Ge Inseln, wie Transmissionselektronenmikroskop Bilder bestätigen. Die Änderung der Inselgrösse ist mit einer kontinuierlichen Energieverschiebung der PL verknüpft. Daraus konnte für die Löcher, die zu der PL führen, eine Lokalisierung in den Ge Inseln abgeleitet werden. Die PL von Proben mit weniger als 1 ML Ge pro Insellage ist der PL von Vergleichsproben ohne Ge sehr ähnlich. Durch Erhöhung der C Menge verschiebt sich in den Vergleichsproben ohne Ge die PL zu tieferen Energien. Aus diesen Messungen wurde auf eine Lokalisierung von Elektronen in den C-reichen Gebieten geschlossen. Die Rekombination von Elektronen in den C-reichen Gebieten mit Löchern in den Ge Inseln wurde auch aus der Entwicklung der PL Intensität mit wachsender Inselgrösse deutlich. Das intensivste PL Signal eines Stapels aus C-induzierten Ge Inseln zeigte bei der üblichen Anregungsleistung eine externe Quanteneffizienz von $4 \cdot 10^{-4}$. Durch die Verringerung der Anregungsleistung um drei Grössenordnungen stieg die Effizienz auf $1.4 \cdot 10^{-2}$ an. Temperaturabhängige Messungen an dieser Probe ergaben verschiedene Aktivierungsenergien in zwei Temperaturbereichen. Die Aktivierungsenergie für Temperaturen über 80 K entspricht mit 74 meV in etwa der Energie, mit der die Elektronen und Löcher lokalisiert sind. Eine Abschätzung dieser Energie ist aus der Position der NP PL des Si und der Ge Inseln und aus einem Vergleich mit den Proben ohne Ge möglich. Eine solche Abschätzung ergab für die Elektronen eine Energie von 60 meV und für die Löcher 80 meV. Die Möglichkeit zum Bau einer Leuchtdiode unter Verwendung der C-induzierten Ge Inseln wurde anhand einer Probe demonstriert.

Der zweite untersuchte Weg, die Form und Umgebung von Ge Inseln zu modifizieren, bestand aus der Verwendung von strukturierten Substraten. Die Form der Inseln wurde durch unterschiedlich breite und verschieden orientierte Stege beeinflusst. Ausserdem konnten auf den Stegen teilweise entspannte $Si_{1-x}Ge_x$ Pufferschichten mit reduzierter Versetzungsdichte gewachsen werden. Die Pufferschichten ermöglichten die Erzeugung von verspannten Si Schichten. Diese stellen einen Potentialtopf für die Elektronen dar. Die Einbettung von Ge Inseln in verspannte Si Schichten sollte zu einer intensiven Lumineszenz führen, da dies die Lokalisierung von Elektronen in der Umgebung der Ge

Inseln verstärkt. Die Ge Inseln auf den teilweise entspannten Pufferschichten durchmischten stark mit der darauf abgeschiedenen Si Schicht. Die Durchmischung verhinderte den Nachweis, dass die an der Rekombination beteiligten Elektronen in der Si Schicht lokalisiert werden. Eine Verringerung der Wachstumstemperatur konnte zwar die Durchmischung abschwächen, jedoch führten die kleineren Temperaturen zu deutlich schwächeren PL Signalen.
Durch die systematische Änderung der Stegorientierung und -breite wurde ein neues Wachstumsphänomen im SiGe Materialsystem entdeckt. Die Abscheidung von $Si_{1-x}Ge_x$ auf speziell geformte Stege führt zur Ausbildung einer vertikalen, Si reichen Schicht. Dieses selbst organisierende Wachstum konnte mehrfach beobachtet werden. Alle vertikalen Schichten wurden durch {15 3 23} Facetten eingegrenzt. Dies weist auf die Wichtigkeit dieser Facetten für die Entstehung der vertikalen Schichten hin.

Abstract

In this PhD thesis the optical properties of Germanium islands were investigated. An aimed influence to the luminescence was achieved by changing the shape and surroundings of the islands. For this purpose the islands were influenced in two ways. One possibility arises from the utilization of carbon layers. A sub-monolayer carbon on Si (001) changes the growth mode of Ge. The Volmer-Weber growth replaces the Stranski-Krastanow growth, i.e. the deposition of Ge on such carbon alloyed Si surfaces leads not to the formation of a wetting layer, but instead to the instantaneous occurrence of islands. In this work the photoluminescence (PL) of such islands was investigated in detail, so improving the understanding of the recombination mechanism. The intense luminescence of C-induced Ge islands originates from the recombination of electrons in the C-rich areas with holes in the Ge islands. This interpretation results from the dependence of the PL on the amount of C and Ge used. Increasing the Ge amount enlarges the Ge islands, as confirmed by transmission electron microscopy images. The changing island size is linked with a continuous energy shift of the PL. This shows that the corresponding holes are localized in the Ge islands. The PL of samples with less than 1 ML Ge per island layer is very similar to the PL of reference samples without Ge. In the reference samples without Ge PL is shifted to lower energies by enhancing the C amount. The localisation of electrons in the C-rich areas was concluded from these measurements. In addition, the recombination of electrons in the C-rich areas with holes in the Ge islands was obvious from the development of the PL intensity with increasing island size. The most intense PL signal of a stack with C-induced Ge islands shows an external quantum efficiency of $4 \cdot 10^{-4}$ using the standard excitation power. This efficiency rose to $1.4 \cdot 10^{-2}$ by lowering the excitation power by three orders of magnitude. Temperature dependent measurements on this sample results in two different activation energies in two temperature ranges. The activation energy for temperatures above 80 K is 74 meV, corresponding to the energy, with which the electrons and holes are localized. An estimation of this energy was possible from the Si and island related NP PL energy and from a comparison with reference samples without Ge. This estimation resulted in an energy for the electrons and holes of 60 meV and 80 meV, respectively. The possibility of creating a light emitting device with C-induced Ge islands was demonstrated with one sample.

In order to modify the shape and surroundings of the Ge islands, the second investigated method was the use of patterned substrates. The shape of the islands was influenced by the width and the orientation of the different line shaped mesas. Furthermore partially relaxed $Si_{1-x}Ge_x$ buffer layers with a reduced dislocation density could be grown on top of the mesas. The buffer layers allow the formation of strained Si layers. These layers are quantum wells for the electrons. The embedding of Ge islands in strained Si layers should lead to a more intense luminescence, because the localization of electrons in the vicinity of the Ge islands is improved. The islands on top of the partial relaxed buffer layers intermix strongly with the Si layers, which were grown on top of the Ge islands. The intermixing prevented the verification of the localization of recombining electrons in the Si layer. A lowering of the growth temperature could reduce the intermixing, however, the lower temperatures result in a much weaker PL.

A new growth phenomenon in the SiGe material system was found by the systematic alteration of the orientation and width of the line shaped mesa. The deposition of $Si_{1-x}Ge_x$ on special formed mesa leads to the development of a vertical, Si rich layer. This self-assembled growth was found in three samples. All vertical layers adjoin to {15 3 23} facets, indicating the importance of the {15 3 23} facets for the development of the vertical layers.