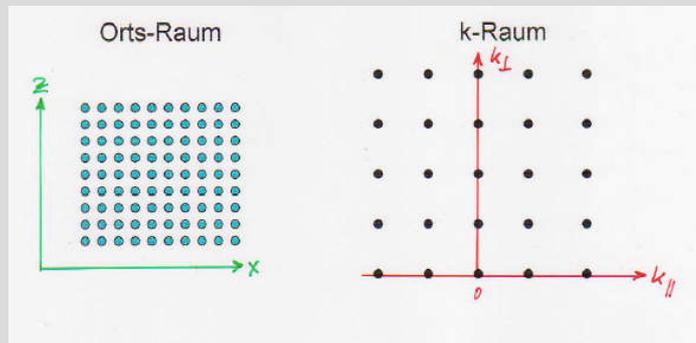


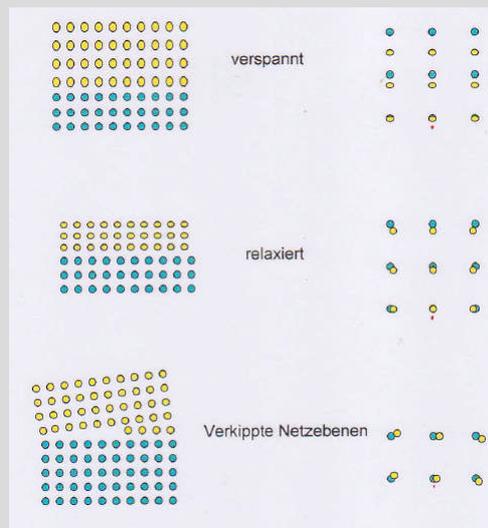
Perfektes Kristallgitter



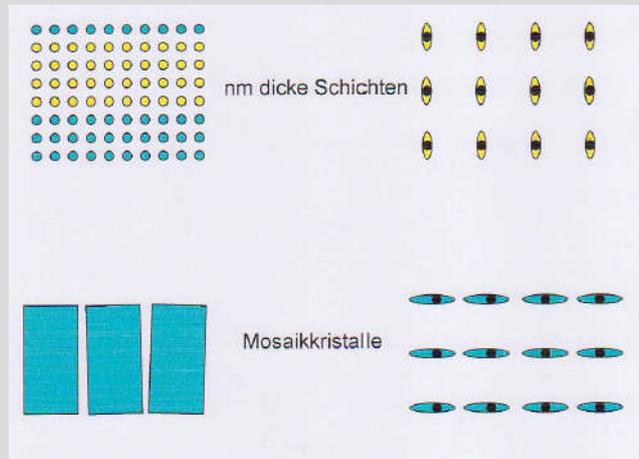
reziproken Gittervektoren:

$$\vec{a}^* = \frac{2\pi}{V}(\vec{b} \times \vec{c}), \vec{b}^* = \frac{2\pi}{V}(\vec{c} \times \vec{a}), \vec{c}^* = \frac{2\pi}{V}(\vec{a} \times \vec{b})$$

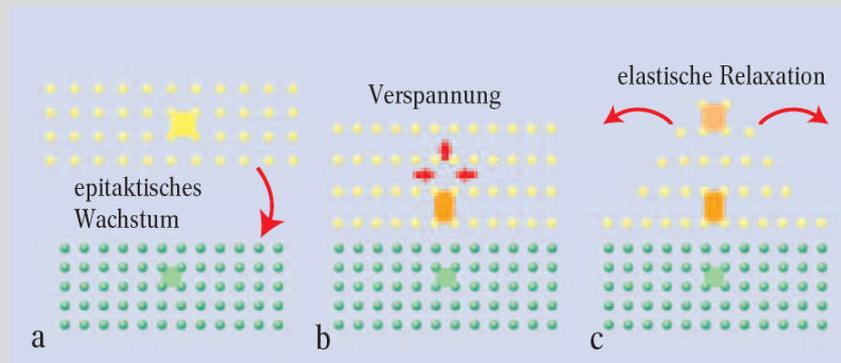
Schichten mit ungleichen Gitterkonstanten



Abweichungen vom perfekten Gitter



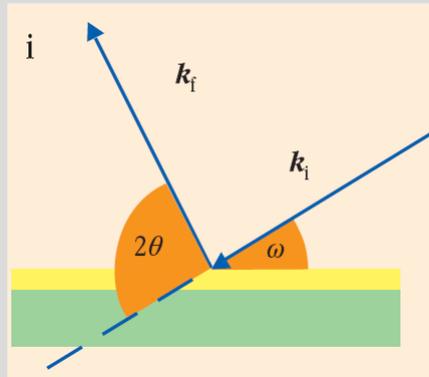
apl.Prof. Dr. D.J. As



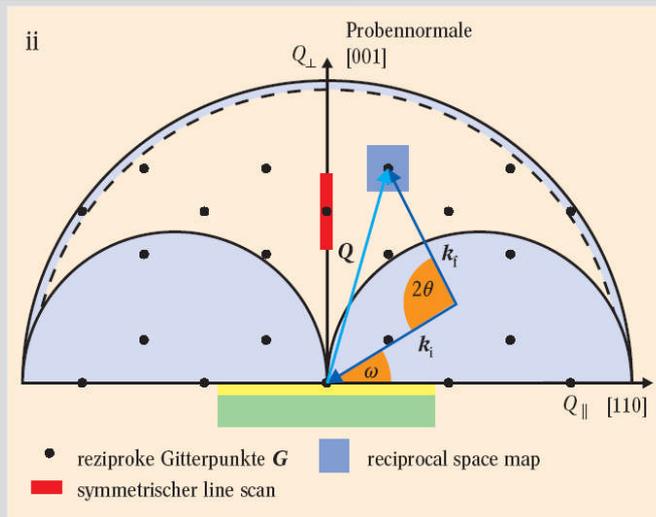
Zwei Halbleitermaterialien A (grün) und B (gelb) mit unterschiedlicher Gitterkonstante werden aufeinander abgeschieden. Die unverzerrte Einheitszelle von B (gelbes Quadrat) wird dabei zunächst pseudomorph verzerrt (b; oranges Rechteck), d. h. lateral ist die Gitterkonstante gleich der des Substrats A. Ab einer bestimmten Schichtdicke bilden sich Inseln auf der Schicht (c). Dadurch kann das Kristallgitter seitlich elastisch relaxieren und so die Verspannung teilweise abbauen (helloranges Rechteck).

apl.Prof. Dr. D.J. As

koplanare Streugeometrie im Realraum (i)

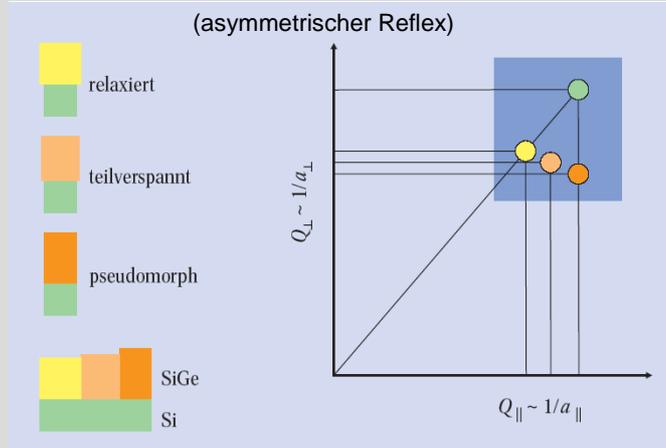


apl.Prof. Dr. D.J. As



Die koplanare Streugeometrie im reziproken Raum der Probe (ii), der gleichzeitig den Impulsübertrag Q bei der Streuung als Koordinaten hat.

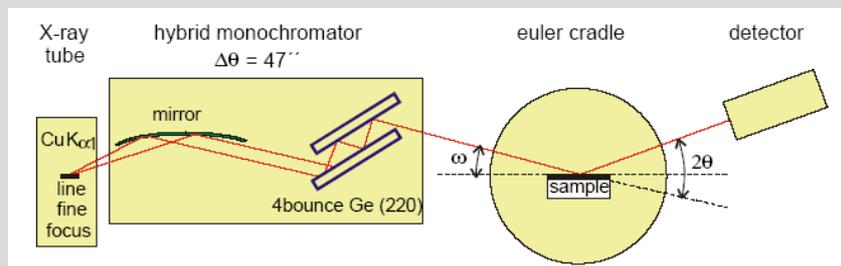
apl.Prof. Dr. D.J. As



Bestimmung der Gitterkonstanten aus einer *reciprocal space map*: Ist die SiGe-Schicht pseudomorph, d. h. ihre Gitterkonstante in der Ebene gleich der von Si, so liegen die beiden Reflexe (grün und orange) im reziproken Raum untereinander. Ist die Schicht ganz relaxiert (gelb), so ist die Kristallsymmetrie gleich der von Si, nicht jedoch die Gitterkonstante. Dann findet man Substrat und Schichtreflex entlang der gleichen Richtung im reziproken Raum. Für teilverspannte Schichten (hellorange) wird eine Zwischenposition des Schichtreflexes gemessen.

apl.Prof. Dr. D.J. As

Schematic plot of the of the Philips X'pert material research diffractometer consisting of the X-ray tube, hybrid monochromator, euler cradle and detector.



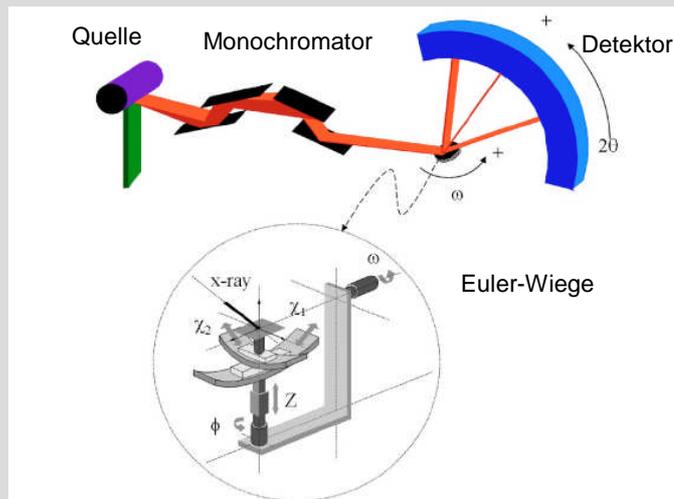
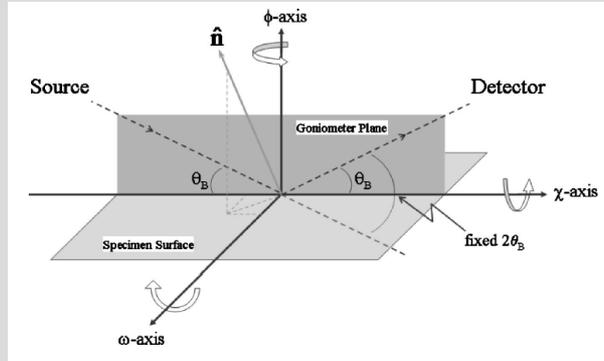
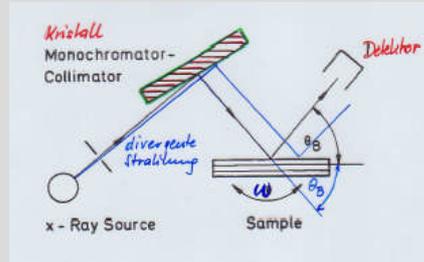
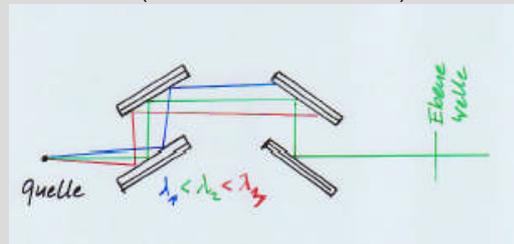
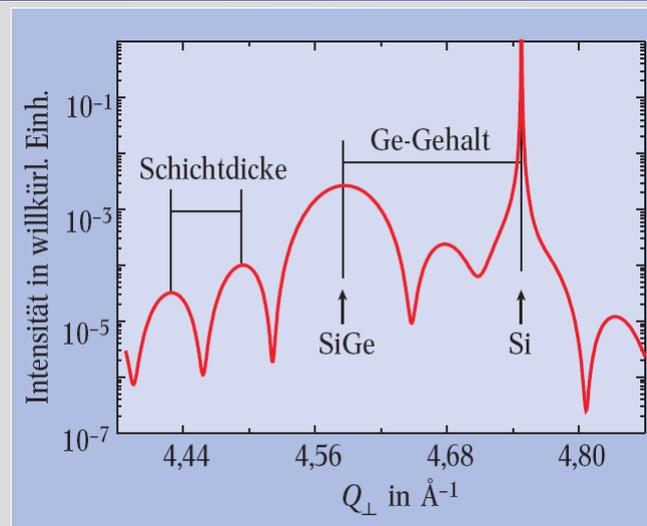


FIG. 1. (Color online): Schematic drawing of the diffractometer and the five-movement sample holder.

2 Kristalldiffraktometer

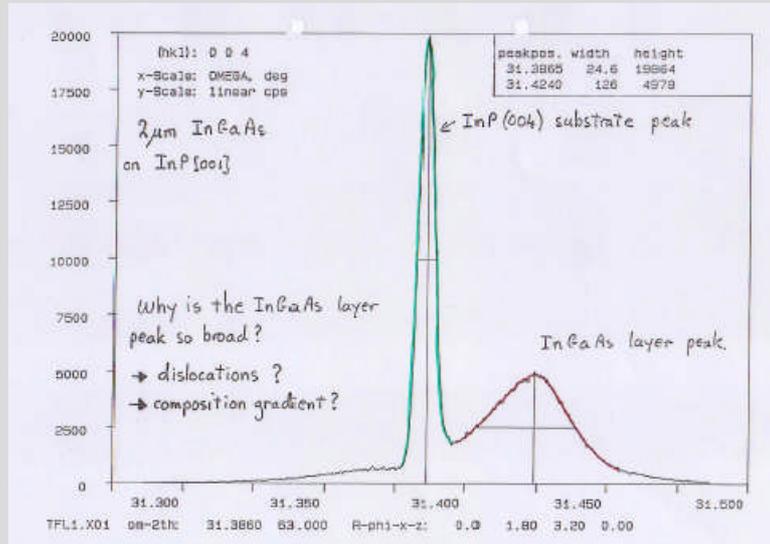
4-Kristall Monochromator
(Bartels Monochromator)

apl.Prof. Dr. D.J. As

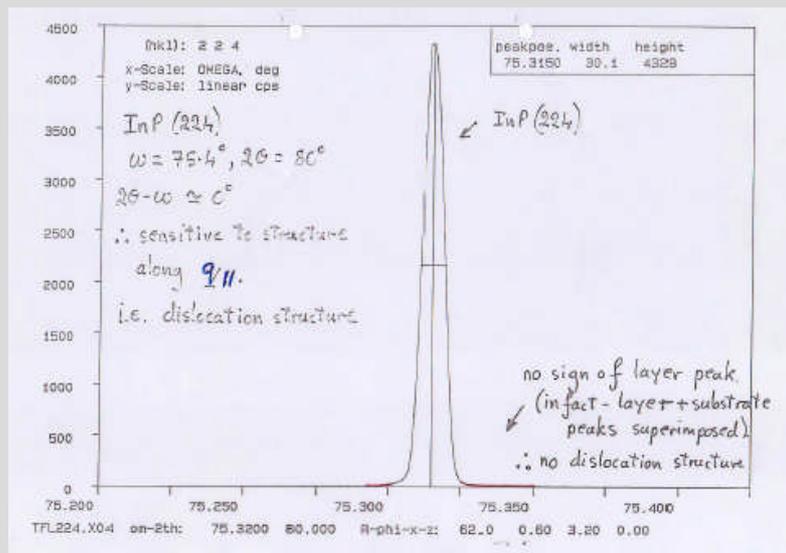


Ein typisches Beugungsspektrum eines symmetrischen „single scans“ einer SiGe-Schicht auf Si.

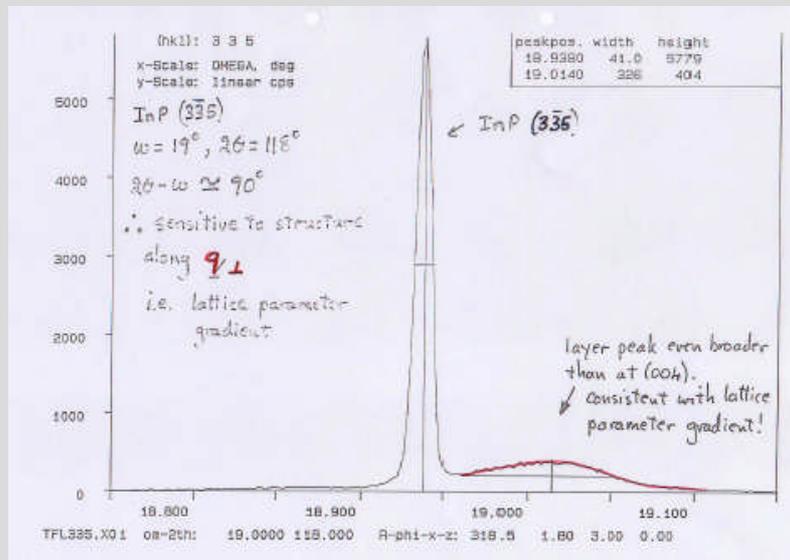
apl.Prof. Dr. D.J. As



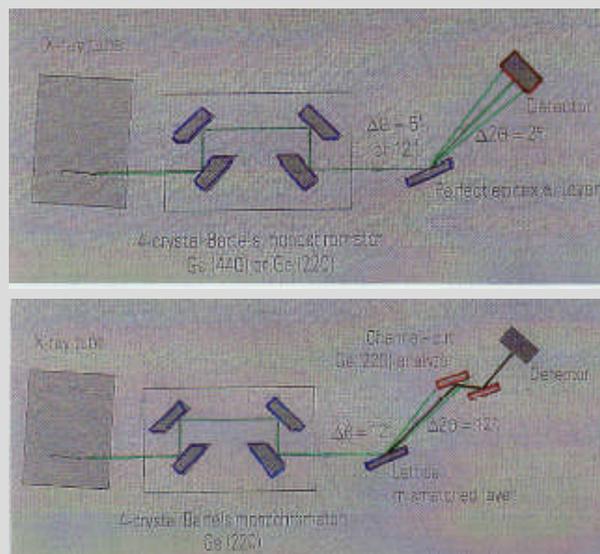
apl.Prof. Dr. D.J. As



apl.Prof. Dr. D.J. As



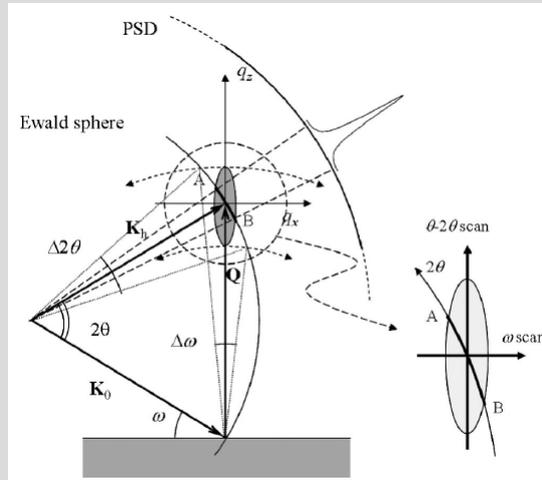
apl.Prof. Dr. D.J. As



apl.Prof. Dr. D.J. As

Reciprocal Space Map

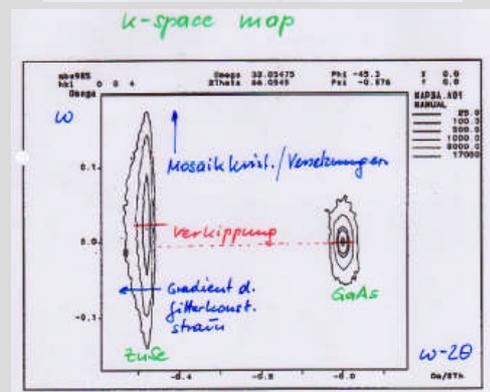
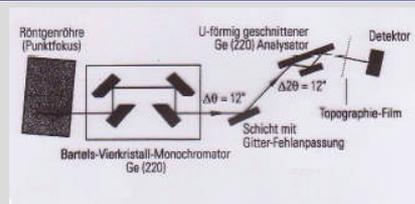
17



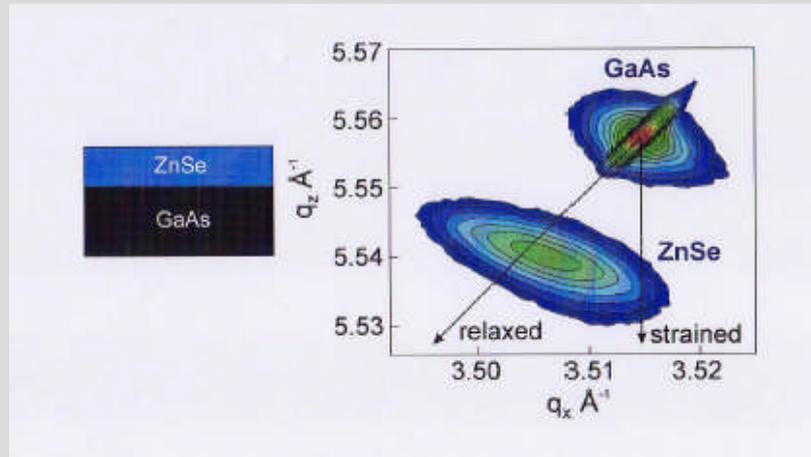
apl.Prof. Dr. D.J. As

K-space map

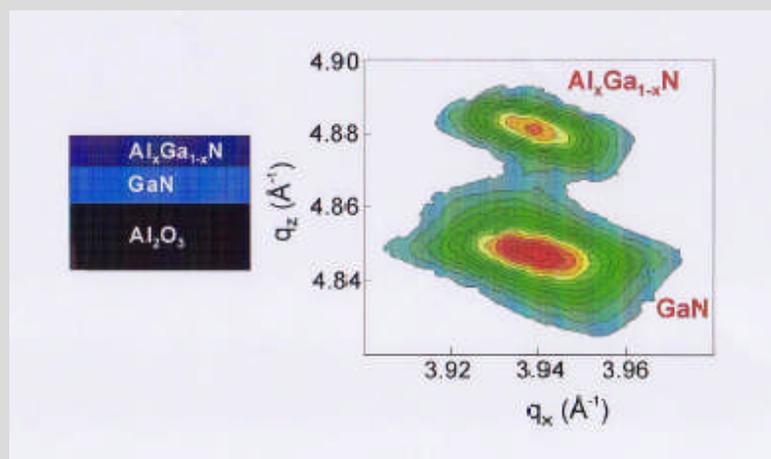
18



apl.Prof. Dr. D.J. As



apl.Prof. Dr. D.J. As



apl.Prof. Dr. D.J. As

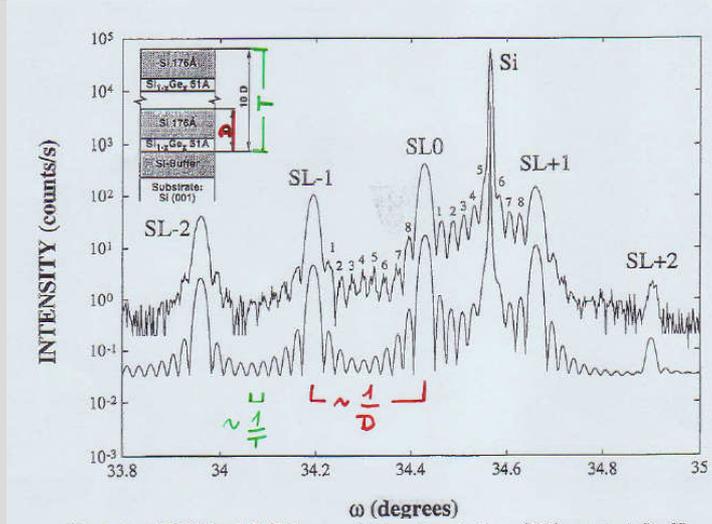
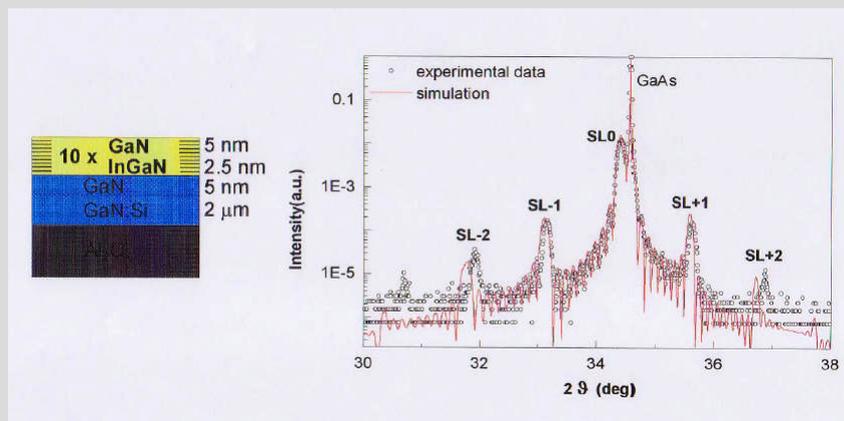
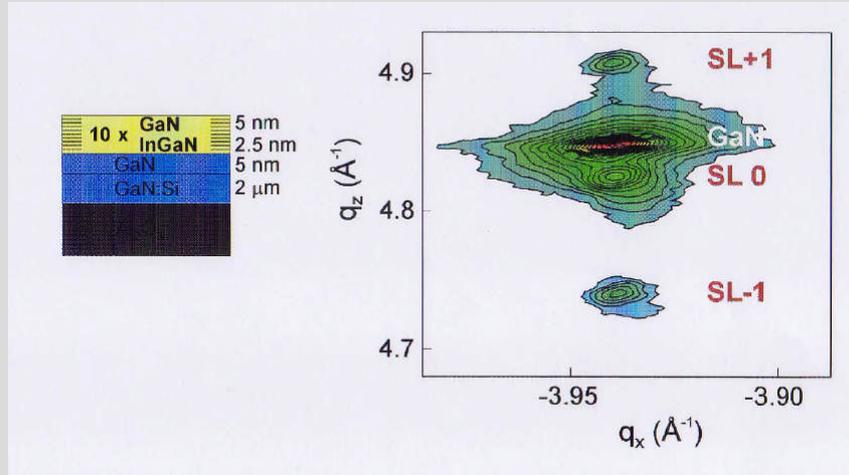


Fig.6.44. HRXRD of Si/SiGe superlattice deposited on (001) oriented Si. SL period $D = 227 \text{ \AA}$ with 10 double layers corresponding to a total thickness of 2270 Å. The number of secondary maxima in-between the main SL satellite peaks is $10 - 2 = 8$

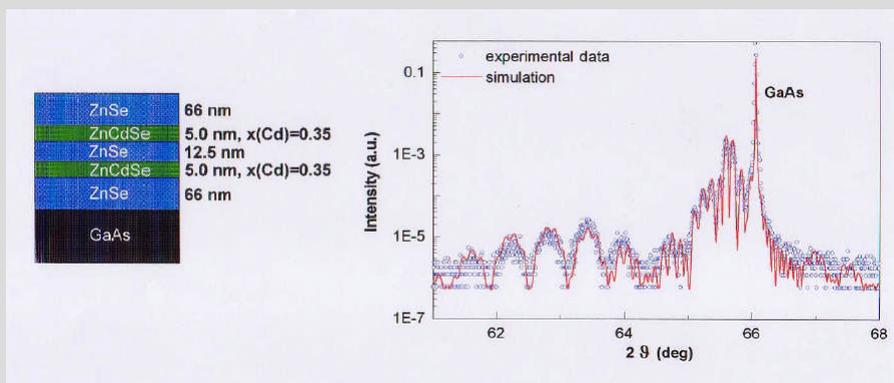
apl.Prof. Dr. D.J. As



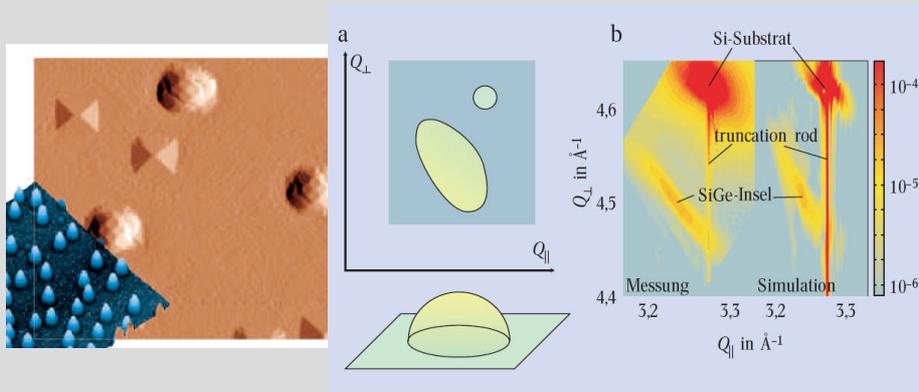
apl.Prof. Dr. D.J. As



apl.Prof. Dr. D.J. As

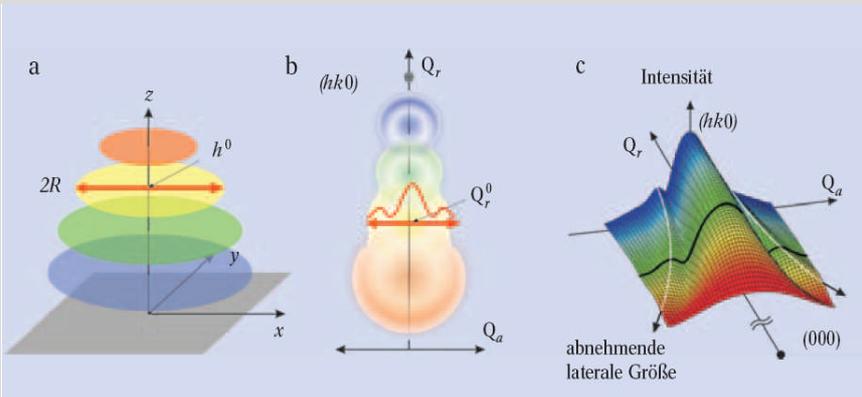


apl.Prof. Dr. D.J. As



In selbstorganisierten Inseln (a, schematisch) variiert der Ge-Gehalt und daran gekoppelt auch die elastische Relaxation. Entsprechend erhält man in einer RSM-Analyse eine breite Intensitätsverteilung. (b) zeigt ein typisches Beispiel einer Messung: Neben der starken diffusen Streuung rund um den Substratreflex und dem „truncation rod“ (ein dynamisches Beugungsphänomen, das daher rührt, dass die Probe von einer Oberfläche begrenzt ist) ist die diffuse Streuung von den SiGe-Inseln gut erkennbar.

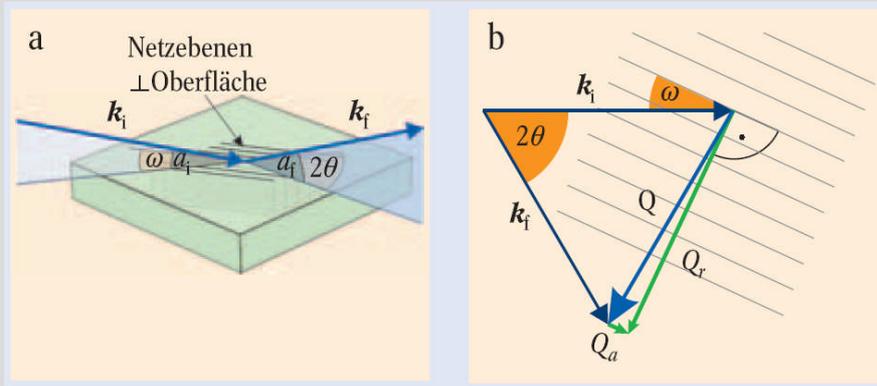
apl.Prof. Dr. D.J. As



In der „iso-strain scattering“-Methode wird eine Insel virtuell in Scheibchen mit konstanter Gitterdehnung zerlegt (a). Jedes Scheibchen verursacht gestreute Intensität im reziproken Raum, die eine dem Radius des Scheibchens umgekehrt proportionale Ausdehnung aufweist und um den der Gitterkonstante entsprechenden Wert von Q_y zentriert ist (b). Durch Messen eines Scans entlang Q_x bei diesem Wert von Q_y lässt sich der Radius messen, auch wenn in Wahrheit die Dehnungsverteilung und damit auch die Intensitätsverteilung kontinuierlich ist (c).

apl.Prof. Dr. D.J. As

(XRR) X-ray Reflectometry is a non-destructive and non-contact technique for thickness determination between 2-200 nm with a precision of about 1-3 Å.



apl.Prof. Dr. D.J. As

In der GID-Geometrie findet die Beugung an Netzebenen senkrecht zur Probenoberfläche statt, indem der einfallende Strahl unter einem sehr flachen Winkel α_i (typischerweise einige zehntel Grad) auf die Oberfläche trifft. Ebenso wird der gebeugte Strahl bei einem sehr kleinen Ausfallswinkel α_r zur Oberfläche detektiert. Der gesamte Impulsübertrag Q ist nahezu parallel zur Oberfläche. GID „kombiniert“ daher einen Beugungsprozess an Netzebenen *senkrecht* zur Oberfläche mit einer Reflexion an der Oberfläche. Letztere tritt auf, da der Brechungsindex für Röntgenstrahlung für alle Materialien etwas kleiner als 1 ist (typischerweise ist $|1-n| \approx 10^{-5}$), und daher Totalreflexion auftritt. Durch diese Reflexion an der Probenoberfläche bleibt eine sehr kleine, aber nicht verschwindende Komponente Q_z in Wachstumsrichtung, die ausgenutzt werden kann, um Höheninformation zu erhalten. Der Impulsübertrag $Q_{||}$ enthält die *radiale* Komponente Q_r senkrecht zu den beugenden Netzebenen und die *angulare* Komponente Q_a parallel zu den Netzebenen. In Q_r ist die Information über den Netzebenenabstand, d. h. über die Gitterdehnungen enthalten, während Q_a nur Informationen über die Form (Fourier-Transformierte der Form) enthält, aber nicht auf Gitterdehnungen empfindlich ist.

apl.Prof. Dr. D.J. As

Filmdicke:

$$d \approx \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\sqrt{\theta_{m+1}^2 - \theta_C^2} - \sqrt{\theta_m^2 - \theta_C^2}}$$

$$\approx \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\theta_{m+1} - \theta_m}, \quad \text{für } \theta_m \gg \theta_C.$$

Oberflächenrauigkeit

$$\rho_{v,h} \cdot \exp\left(-\frac{d}{2\sigma^2}\right)$$

