

# Trockenätzen zur Herstellung von Si/SiGe Infrarotdetektoren

**P. Kruck, M. Helm, G. Bauer, K. Lübke\***  
**Institut für Halbleiterphysik, Universität Linz**  
**\*Institut für Mikroelektronik, Universität Linz**  
**A-4040 Linz**

Eine neue Generation von Silizium-kompatiblen Infrarotdetektoren könnte auf Inter-subbandübergängen in Si/SiGe Quantentöpfen basieren. Im vorliegenden Beitrag werden die Herstellung solcher Detektoren beschrieben und erste Ergebnisse zu ihrer Charakterisierung vorgestellt. Ein zentraler technologischer Schritt, das Ätzen der Detektormesas, wird mit einem  $\text{CF}_4$  Plasma durchgeführt. Die Anwendbarkeit dieses Ätzverfahrens zur Herstellung von Quantendrähten auf Si/SiGe wird aufgezeigt.

## 1. Einleitung

Das Materialsystem Si/SiGe ist vielversprechend in Hinblick auf die Herstellung von Infrarotdetektoren im 10  $\mu\text{m}$  Bereich, die mit der Siliziumtechnologie kompatibel sind. Dabei wird die Diskontinuität des Valenzbandes zwischen Si und SiGe ausgenutzt, wodurch im SiGe ein Quantentopf für Löcher entsteht, sofern die epitaktischen Schichten auf Si-Substraten gewachsen werden. Die Detektion der Infrarotstrahlung basiert auf optischen Übergängen zwischen Subbändern in den SiGe Quantentöpfen, wobei sich das angeregte Subband energetisch nahe am Topfrand oder schon im Kontinuum befindet. Bis jetzt wurden solche Intersubband-Detektoren hauptsächlich im GaAs/AlGaAs Heterosystem realisiert [1]. Der jüngste Fortschritt im epitaktischen Wachstum des Si/SiGe Materialsystems hat jedoch auch detaillierte Studien der Infrarot-Intersubbandabsorption ermöglicht [2] und zur Demonstration der Detektion von Infrarotstrahlung geführt [3].

Die kontrollierte Herstellung von Detektorelementen und speziell von Arrays erfordert geeignete Ätztechniken. In der vorliegenden Arbeit berichten wir über das reaktive Ionenätzen von Si/SiGe Detektorstrukturen. Ferner werden die ersten Resultate der Detektorcharakterisierung präsentiert und abschließend Vorversuche zur Herstellung von sub- $\mu\text{m}$  Strukturen auf Si/SiGe beschrieben.

## 2. Si/SiGe Infrarotdetektoren

Eine typische Detektorstruktur wird auf einem semi-isolierenden Si (001) Substrat und einer Si Pufferschicht mit Molekularstrahlepitaxie gewachsen und ist folgendermaßen aufgebaut: Die aktive Schicht besteht aus etwa 10 - 20 Perioden von pseudomorphen SiGe Quantentöpfen (Ge Gehalt etwa 30%, Dicke etwa 3 nm), die jeweils durch eine Si Barriere (Dicke 20 - 30 nm) voneinander getrennt sind. Die Töpfe sind p-dotiert (etwa  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) durch den Einbau von Boratomen. Die aktive Schicht wird beidseitig von ebenfalls p-dotierten Kontaktierschichten eingeschlossen. Ein auftreffendes Infrarotphoton kann nun ein Loch vom Grundzustand in ein angeregtes Subband heben, wo es zum Photostrom beitragen kann (siehe Inset in Abb. 1). Der Dunkelstrom ist somit bei

tiefen Temperaturen durch Tunneln dominiert und bei höheren Temperaturen durch thermionische Emission über die Barrieren. Normalerweise (d.h. in einfachen, isotropen Bandstrukturen, wie z.B. dem Leitungsband von GaAs) können Übergänge zwischen Subbändern nur durch Strahlung mit einer Polarisationskomponente senkrecht zu den Schichten angeregt werden. Die Strahlung wird dann über eine schräg angeschliffene Kante der Probe eingekoppelt. Obwohl diese Auswahlregel im Valenzband von SiGe nicht mehr strikt gültig ist, wurde in den meisten Messungen dasselbe Einkopplungsverfahren angewandt.

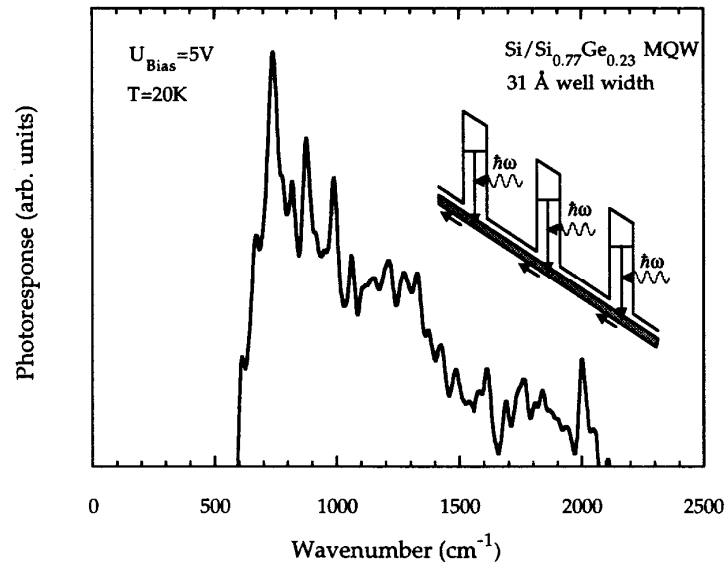


Abb. 1: Photostromspektrum eines Si/SiGe Infrarotdetektors. Inset: Valenzbandkante einer Si/SiGe Multiquantentopfstruktur und schematische Darstellung der Funktionsweise eines Intersubband-Detektors.

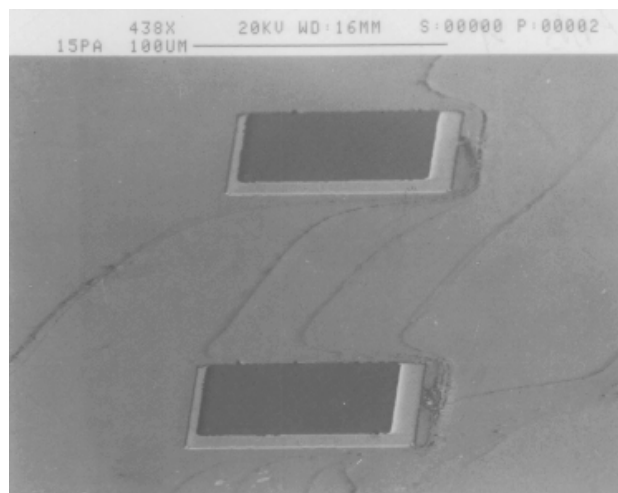


Abb. 2: REM Aufnahme eines Detektor-Mesas.

Zur Herstellung einer Detektorstruktur wird ein Element photolithographisch definiert (typisch 100  $\mu\text{m}$  Durchmesser), dann werden die Mesas geätzt, durch geeignete Metallisierung ohmsche Kontakte aufgebracht und gebondet. Die Mesas wurden in einem Plattenreaktor durch reaktives Ionenätzen hergestellt. Als Ätzgase wurden  $\text{SF}_6$  oder  $\text{CF}_4$  verwendet.  $\text{CF}_4$  weist zwar eine wesentlich schlechtere Selektivität der Ätzrate bezüglich des Halbleitermaterials im Vergleich zum Photolack auf, wegen der geringen Ätztiefe von nur etwa 1  $\mu\text{m}$  ist der Kontrast jedoch ausreichend. Außerdem ist die Ätzrate so langsam (20 nm/min), daß eine sehr genaue Kontrolle der Ätztiefe ermöglicht wird. Im Vergleich zu anderen Ätzgasen, wie z.B.  $\text{SiCl}_4$  [4], haben die Fluoride den Vorteil, wesentlich weniger aggressiv zu sein. Abb. 2 zeigt die Rasterelektronenmikroskop (REM) - Aufnahme einer fertigen Detektorstruktur. Das Photostromspektrum [5] einer solchen Struktur ist in Abb. 1 dargestellt. Der Dunkelstrom beträgt typischerweise 100 nA bis 1  $\mu\text{A}$  bei einer Biasspannung von 5 V.

### 3. Ausblick: Quantendrähte in Si/SiGe

Mit demselben Ätzverfahren wurde versucht, auch kleinere Strukturen herzustellen. In einem ersten Versuch wurde ein Gitter mit einer Periode von 5  $\mu\text{m}$  durch konventionelle Lithographie (Metallmaske) definiert. Leichtes Überbelichten und der anschließende Ätzvorgang führten schließlich zu einer auf das Si/SiGe Material übertragenen Struktur mit Stegen von etwa 1.5  $\mu\text{m}$  Breite und 1  $\mu\text{m}$  Tiefe. Eine REM Aufnahme dieser Struktur ist in Abb. 3 zu sehen. Als nächster Schritt soll ein Gitter durch holographische Lithographie hergestellt werden. Dies könnte schließlich zur Realisierung von Quantendrähten auf Si/SiGe mit einer Dicke von wenigen 100 nm führen [6].

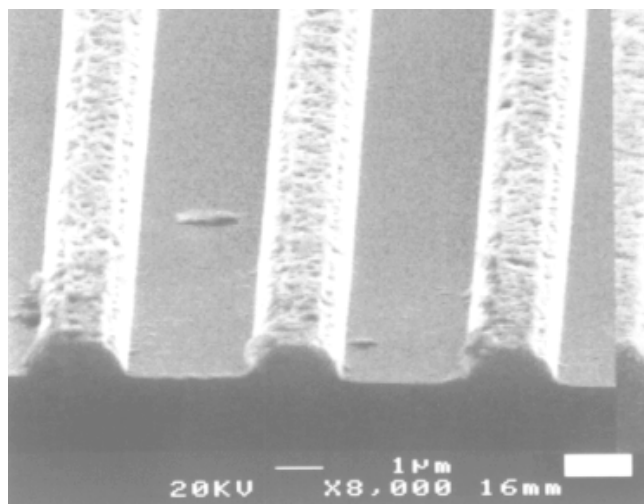


Abb. 3: Geätztes Gitter mit 5  $\mu\text{m}$  Periode auf Si/SiGe.

### Literaturverzeichnis

- [1] B. F. Levine, J. Appl. Phys. **74**, R1 (1993)
- [2] T. Fromherz, E. Koppensteiner, M. Helm, G. Bauer, J. F. Nützel, G. Abstreiter, Phys. Rev. B **50**, 15073 (1994)

- 
- [3] R. P. G. Karunasiri, J. S. Park, K. L. Wang, *Appl. Phys. Lett.* **59**, 2588 (1991);  
R. P. G. Karunasiri, J. S. Park, K. L. Wang, *Appl. Phys. Lett.* **61**, 2434 (1992);  
R. People, J. C. Bean, C. G. Bethea, S. K. Sputz, L. J. Peticolas, *Appl. Phys. Lett.* **61**, 1122 (1992)
  - [4] Y. S. Tang, C. D. Wang, C. M. Sotomayor-Torres, D. W. Smith, T. E. Whall, and E. H. C. Parker, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 497 (1993)
  - [5] T. Fromherz, J. F. Nützel, H. Hertle, M. Helm, G. Bauer, G. Abstreiter, *Vibrational Spectroscopy* **8**, 109 (1995)
  - [6] M. Holzmann, D. Többen, G. Abstreiter, M. Wendel, H. Lorenz, J. P. Kotthaus, F. Schäffler, *Appl. Phys. Lett.* **66**, 833 (1995)