

## NUMERISCHE ANALYSE DER BULK-BARRIER DIODE

E. Langer (1), S. Selberherr (1), H. Mader (2)

(1) Inst. für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik, TU Wien  
(2) Siemens AG, Zentrale Forschung und Entwicklung, München

### ZUSAMMENFASSUNG:

Es wird eine selbstkonsistente numerische Analyse von Bulk-Barrier Dioden (BBD) vorgestellt, welche mittels eines Computerprogrammes unter Berücksichtigung der Effekte zweiter Ordnung durchgeführt worden ist. Die Funktionsweise einer BBD wird anhand von Verteilungen der relevanten physikalischen Größen im Inneren der BBD erläutert und gemessene und gerechnete Kennlinien werden verglichen.

### 1. Einleitung

Bulk-Barrier Dioden (BBD) sind relativ neue Bauelemente, deren vorteilhafte Eigenschaften ein weites Anwendungsfeld eröffnen. Der Stromtransport erfolgt bei BBDn im wesentlichen durch Majoritätsträger und wird durch eine 'Bulk-Barriere', welche rein technologisch einstellbar ist, gesteuert. Auf den ersten Blick erscheint die BBD mit einer Schottky-Diode, welche ebenfalls ein Majoritätsträgerbauelement ist, vergleichbar; der bemerkenswerteste Unterschied besteht darin, daß sich die Barriere der Schottky-Diode am Metall-Halbleiter-Übergang befindet und technologisch nicht beeinflussbar ist.

Das dem Computerprogramm zugrundeliegende physikalische Modell sowie die Modellierung der physikalischen Parameter (wie z.B. Trägerbeweglichkeiten, Rekombination) können aus Platzgründen nicht in dieser Arbeit erfolgen und sind in /8/ zu finden. Es ist weiters nicht die Aufgabe dieser Abhandlung, das numerische Lösungsverfahren zu beschreiben, insbesondere da unsere Analyse nur eindimensional ist. Diodenanalysen dieser Art sind bereits

1968 veröffentlicht worden /6,7/ und kürzlich veröffentlichte Artikel handeln von zweidimensionalen transienten /2,3,5,11/ oder sogar dreidimensionalen Analysen /4/. Für viele praktische Anwendungen ist jedoch ein eindimensionales Halbleitersimulationsprogramm vollkommen ausreichend.

## 2. Das interne Verhalten von Bulk-Barrier Dioden

Unseren Untersuchungen liegt eine BBD mit einem  $p^+np$ -Dotierungsprofil, einer Länge von 470  $\mu\text{m}$  und einer Fläche von 0.5  $\text{mm}^2$  zugrunde. Im folgenden soll die prinzipielle Funktionsweise einer BBD erklärt werden: Das n-Gebiet ist relativ dünn, sodaß dieses bereits ohne angelegte Spannung an freien Elektronen verarmt ist; die  $p^+np$ -Diode befindet sich im 'punch-through' /12/. Legt man eine positive Spannung zwischen das p- und das  $p^+$ -Gebiet, so ist der  $p^+n$ -Übergang - zukünftig der erste Übergang genannt - in Sperr- und der  $np$ -Übergang - der zweite Übergang - in Flußrichtung gepolt. Da die Dotierung im  $p^+$ -Gebiet höher als im n-Gebiet ist, dehnt sich die Raumladungszone hauptsächlich in das n-Gebiet aus. Zufolge des 'punch-through' fließt schon bei relativ geringen Spannungen ein Löcherstrom vom p- zum  $p^+$ -Gebiet; die BBD ist in Flußrichtung gepolt. Die Kniespannung einer BBD kann durch das Dotierungsprofil und die Dicke des n-Gebietes, also mittels technologischer Schritte, eingestellt werden.

Legt man eine negative Spannung zwischen das p- und  $p^+$ -Gebiet, so ist der zweite Übergang rückwärts gepolt. Dieser Übergang ist aufgrund der niedrigen Substratdotierung imstande zu sperren, da sich die Verarmungszone im wesentlichen in das Substratgebiet ausdehnt; die BBD ist in Sperrichtung gepolt. Für weitere Erläuterungen der eben beschriebenen Vorgänge sei auf /9,10/ verwiesen.

Da das Dotierungsprofil das Verhalten der BBD in extrem kritischer Weise beeinflußt, wurde der Modellierung des Dotierungsprofils große Bedeutung beigemessen und mit Hilfe von SUPREM II-03, dem Stanford University PProcess Engineering Models program /1/, durchgeführt.

Bild 1 zeigt das errechnete Dotierungsprofil der untersuchten BBD sowie die Trägerdichteverteilungen bei  $-1.0\text{ V}$  und  $0.5\text{ V}$  angelegter Spannung. Beim Arbeitspunkt in Sperrichtung ist die Raumladungszone des zweiten Übergangs deutlich zu sehen, während die Löcherdichte bei einer Flußspannung von  $0.5\text{ V}$  im gesamten Bauelement dominiert, indem sie im n-Gebiet beinahe die Elektronendichte erreicht.

Bild 2 zeigt die Potentialverteilungen im Innere einer BBD für verschiedene Arbeitspunkte. Man kann anschaulich erkennen, daß die Barriere mit steigender Spannung kleiner wird. Die Barriere nimmt zwar bei Rückwärtspolung mit steigender Sperrspannung ebenfalls ab, aber in wesentlich geringerem Ausmaß, sodaß die Sperrfähigkeit bei mäßigen Sperrspannungen durch diese Barrierenabsenkung nicht beeinträchtigt wird.

### 3. Vergleich mit der Messung

Bild 3 zeigt einen Vergleich zwischen der simulierten und gemessenen Kennlinie einer BBD, wobei das vorhergesagte Diodenverhalten vollkommen bestätigt ist. Die Kniespannung ist zweifellos kleiner als bei einer herkömmlichen Siliziumdiode. Die Verschiebung der Kennlinien im Flußbereich ist zu gering, als daß man von schlechter Übereinstimmung sprechen könnte, und hat ihre Ursache einzig und allein in der Unbestimmtheit des Dotierungsprofils, was durch Bild 4 untermauert wird.

Bild 4 zeigt die Flußkennlinien einer BBD im logarithmischen Maßstab. Auf diesem Bild sind zusätzliche simulierte Kennlinien für kleine Änderungen der Implantationsparameter eingezeichnet. Die Verschiebung der Kennlinien eben zufolge dieser Änderungen ist enorm ausgeprägt.

### 4. Abschließende Bemerkungen

Wägt man alle Vor- und Nachteile ab, so eröffnet sich für die BBD ein sehr weites Anwendungsfeld. BBDn sind Majoritätsträgerbauelemente mit diodenähnlichem Verhalten. Die Kniespannung von BBDn kann mittels herkömmlicher technologischer Schritte

eingestellt werden, was einen sehr großen Vorteil gegenüber einer Siliziumdiode darstellt. Die Schaltgeschwindigkeit von BBDn ist sehr hoch zu erwarten, da die hierfür relevante Zeitkonstante, die dielektrische Relaxationszeit, in der Größenordnung von Picosekunden liegt. Des Weiteren könnten das kapazitive Verhalten und der differentielle Widerstand für Spezialanwendungen mit Hilfe technologischer Schritte eingestellt werden.

#### Danksagung

Diese Arbeit wurde vom "Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung" (Projekt Nr. S22/11) unterstützt. Die Autoren danken Dipl. Ing. D. Schornböck und dem gesamten Rechenzentrum für die ausgezeichnete Computerbetreuung und Prof. Dr. H. Pötzl für die vielen nützlichen Diskussionen.

#### Literatur

- /1/ Antoniadis D.A., Hansen S., Dutton R.W.: Stanford Technical Report, No.5019-2, 1978.
- /2/ Barnes J.J., Lomax R.J.: Electron. Lett., Vol.11, p.519, 1975.
- /3/ Buturla E.M., Cotrell P.E.: Solid State Electron., Vol.23, p.331, 1980.
- /4/ Buturla E.M., Cotrell P.E., Grossman B.M., Salsburg K.A., Lawlor M.B., McMullen C.T.: Proc. Internat. Solid-State Circuits Conf., p.76, 1980.
- /5/ Cotrell P.E., Buturla E.M.: Proc. NASECODE I Conf., p.31, 1979.
- /6/ De Mari A.: Solid-State Electron., Vol.11, p.33, 1968.
- /7/ De Mari A.: Solid-State Electron., Vol.11, p.1021, 1968.
- /8/ Langer E.: Diplomarbeit, TU Wien, 1980.
- /9/ Mader H.: Dissertation, TU München, 1976.
- /10/ Mader H.: Europäisches Patent Nr.0003101979.
- /11/ Manck O.: Dissertation, TH Aachen, 1975.
- /12/ Sze S.M.: Physics of Semiconductor Devices, Wiley, New York, 1969.

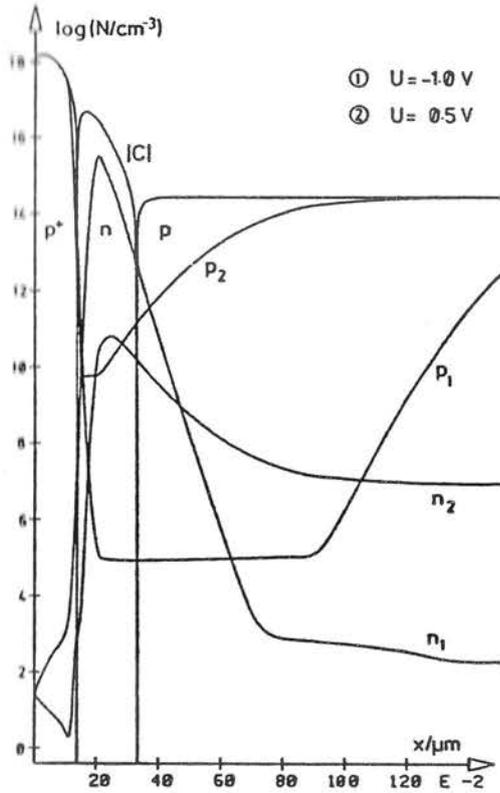


Bild 1

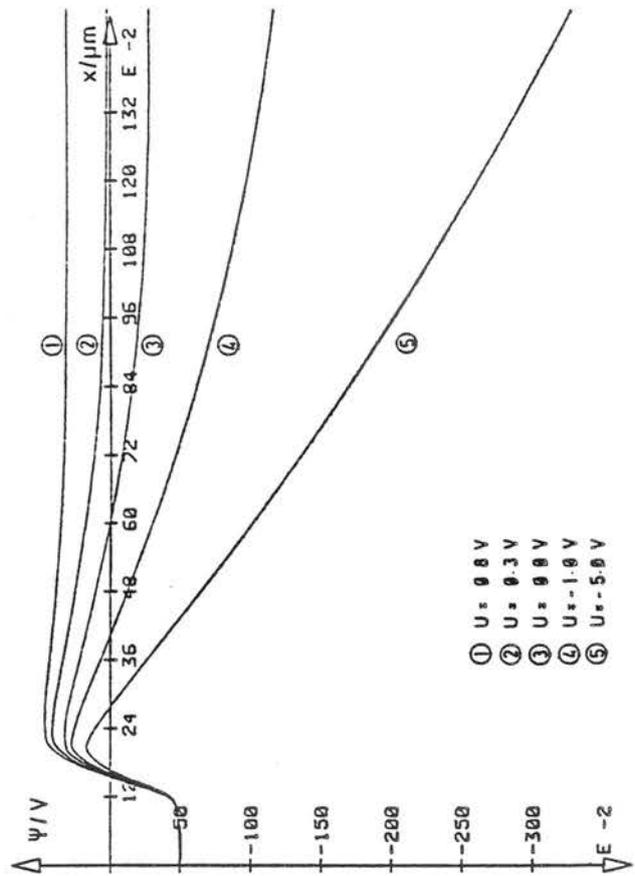


Bild 2

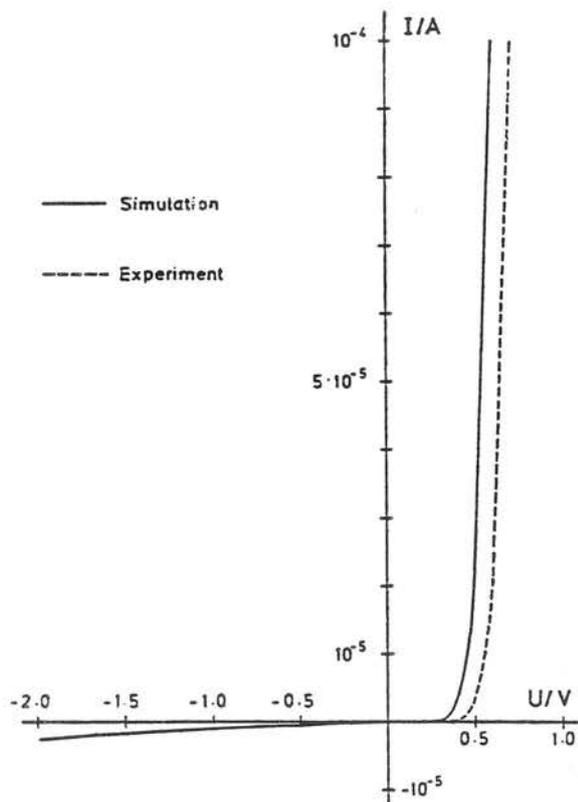


Bild 3

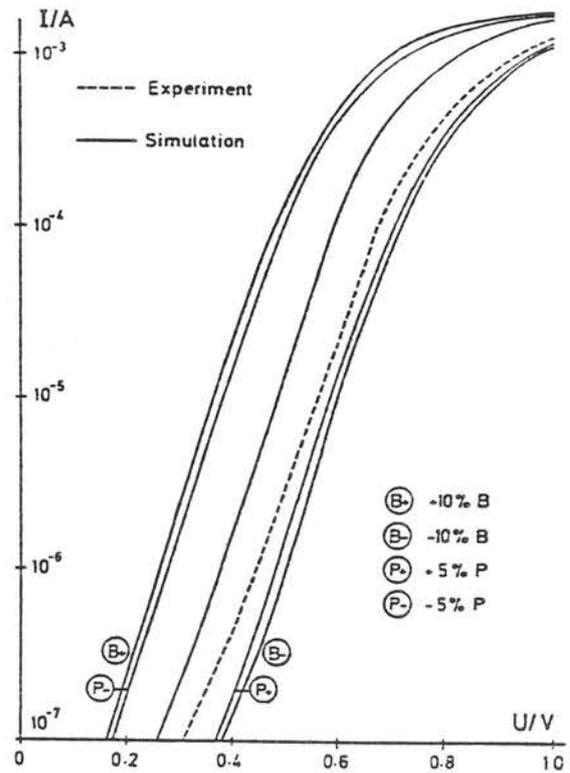


Bild 4