NUMERISCHE SIMULATION VON GaAs-BAUELEMENTEN

A.G.Franz, G.A.Franz, S.Selberherr, H.Pötzl

Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik, TU Wien

ZUSAMMENFASSUNG :

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Ergebnissen 2-dimensionaler Simulationen von GaAs-MESFETs. Es wurden 2 verschiedene Bauelemente gewählt, die beide die besonderen Eigenschaften des Halbleitermaterials ausnützen. Einerseits (Kapitel 1) werden die Ergebnisse eines MESFETs mit einem "recessed" gate präsentiert und die Auswirkungen auf die Konvergenz bei unterschiedlicher Parameter-Wahl dargestellt, andererseits (Kapitel 2) wurde ein am selben Institut gefertigtes Bauelement ("field effect controlled transferred electron device") /1/ simuliert. Die mit einem früher entwickelten Programmsystem SCDSS /2/ erzielten Resultate werden dabei mit den experimentell gemessenen Kennlinien verglichen.

1. "recessed" gate-MESFET

Die für diese Simulation gewählte Geometrie und der Arbeitspunkt wird in Fig. 1 dargestellt. Anhand dieses Bauelementes wurde der Einfluß von drei verschiedenen Beweglichkeitsfunktionen auf das Konvergenzverhalten des Newton-Lösungsalgorithmus getestet. Alle 3 Tests hatten dieselbe Diskretisierung. Fig. 2 zeigt die 3 verschiedenen Modelle :

1. $\mu = \text{const.} = 2000\text{cm}^2/\text{Vs}$, 2. $\mu = \dfrac{\mu_1(n)}{\sqrt{1+(E*\mu_1(n)/v_s)^2}}, \mu_1 = 65. + \dfrac{\mu_o}{1+\dfrac{(.67\ N+.33\ n}{8.5.10^{16}}}$ /3/

3. $\mu = \dfrac{\mu_o + v_s . E^3/E_o^4}{1+(E/E_o)^4}$ /4/, $\mu_o = 6000\text{cm}^2/\text{Vs}$, $E_o = 3.5\text{kV/cm}$, $v_s = 9.10^6\text{cm/s}$, $N = N_D^+ + N_A^-$

Die Iterationsgeschichte ist in Fig.3 zusammengefaßt : Nur bei konstanter Beweglichkeit konvergiert das Verfahren quadratisch.Die beiden nichtlinearen Modelle mit Sättigungsgeschwindigkeit (Modell 2) und negativer differentieller Beweglichkeit (Modell 3) zeigen nur lineares Konvergenzverhalten. Das einzig physikalisch verwertbare Ergebnis liefert jedoch Modell 3, was man in Fig. 4-6 erkennen kann. Die lineare Darstellung der Elektronendichten zeigt für Modell 1 (Fig.4) einen zu breiten Kanal, der bei Modell 2 (Fig. 5) zwar schon mehr abgeschnürt ist, aber erst bei Modell 3 (Fig. 6) tritt der charakteristische statische Dipol im Kanal deutlich auf.

2. "field effect controlled transferred electron device"

Das Programm SCDSS wurde nicht nur zur Berechnung üblicher Geometrien und Strukturen verwendet, sondern auch für eine Untersuchung eines am selben Institut entwickelten und hergestellten Bauelements. Die Geometrie des "Gunn-Elements" ist in Fig. 7 dargestellt. Die Driftzone zwischen Gate- und Drain-Kontakt wurde 10µm gewählt.

Die erste Untersuchung vergleicht eine berechnete mit einer experimentell gemessenen Kennlinie für eine angelegte Gatespannung von $U_G = -7V$. Wie aus Fig.8 ersichtlich ist, ist der berechnete Drainstrom bis zu einer Drainspannung von $U_D = 10V$ größer als der gemessene Strom und sättigt bei kleinerer Spannung. Der errechnete Ausgangsleitwert $\partial I_D/\partial U_D$ ist kleiner als der gemessene. Die Gründe für diese Abweichungen sind noch nicht geklärt.

Wie stark das Dotierungsniveau der aktiven Schicht das Ergebnis beeinflußt zeigen die Fig.9-12. Bei einem willkürlich gewählten Arbeitspunkt U_D=12.5V, $U_G = -6V$ wurden 2 verschiedene Dotierungen n^+ gewählt. Für Fig. 9 und Fig. 10 gilt $n_1^+ = 2.10^{16} cm^{-3}$, während für Fig.11 und 12 $n_2^+ = 10^{15} cm^{-3}$ gewählt wurde. Bei der Elektronendichtendarstellung von Fig.9 ist deutlich eine Akkumulations- und Depletionszone zu erkennen, außerdem ist der Kanal noch nicht abgeschnürt. In Fig. 11 hingegen hat sich die Raumladungszone über die gesamte aktive Schicht ausgebreitet und den Kanal vollständig abgeschnürt. Fig. 10 und 12 zeigen die logarithmische Darstellung des Betrages der elektrischen Feldstärke $|e|$. Die Driftzone zwischen Drain- und Gatekontakt ist bei höherer Dotierung (Fig.10) deutlich ausgeprägt, der Wert $|e|$ liegt bei 350 V/cm, das Maximum ist wie zu erwarten am drainseitigen Ende des Gatekontaktes und beträgt 320kV/cm. Die niedrigere Dotierung (Fig.12) zeigt ebenso dort das Maximum, der Wert liegt aber um den Faktor $\sqrt{n_1^+ / n_2^+}$ tiefer und beträgt 72kV/cm.

Die nächsten Bilder Fig.13 und 14 sind Ergebnisse der Simulation des Arbeitspunktes U_D= 5V, U_G = 0V. Dieser Arbeitspunkt weist bei den Berechnungen - entgegen den experimentellen Messungen - bereits den Gunneffekt auf. Die Kennlinie U_G = 0V zeigt nämlich einen monotonen Anstieg des Stromes bis etwa U_D = 4.5V und anschließend einen schwach fallenden Ast. Die Elektronendichte (Fig.13) zeigt einen ausgeprägten Dipol. Der Bereich der Feldstärke in Stromrichtung (Fig.14), in dem eine negative differentielle Beweglichkeit auftritt (3.5 - 10kV/cm) ist deutlich ausgeprägt. Berechnungen bei höherer Drainspannung liefern für verschiedene Diskretisierungen verschiedene Stromwerte.Dies scheint darauf hinzudeuten, daß zufolge des Gunneffektes keine physikalisch sinnvolle statische Lösung existiert.

Unser Dank gilt Dr.A.Schütz fürseine wertvollen Diskussionsbeiträge, ebenso dem Interuniversitären Rechenzentrum für den guten Zugriff zum Rechner.
Diese Arbeit wurde unterstützt vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung Projekt No. S 22/11 und vom Forschungslabor der Siemens AG München.

/1/ Kuch et al.,"Millimeter-wave operation of 10 (20) microns long field effect controlled transferred electron devices", 1982 International Symposium on GaAs and Related Compounds, will be published.

/2/ Franz A.F. et al., "Finite Boxes" - A Generalization of the Finite Difference Method Suitable for Semiconductor Device Simulation, presented at the joint SIAM-IEEE Conference on Numerical Simulation of VLSI Device at Boston, Nov.1982, and submitted to IEEE Trans.on ED.

/3/ Selberherr S., "Two dimensional MOS Transistor Modeling",Proc. of the NATO Advanced Study Institute Conference on Process and Device Simulation for MOS-VLSI Circuits, Sogesta-Urbino,1982.

/4/ Smith P., et al., "Electron Velocity in Si and GaAs at Very High Electric Field", Appl.Phys.Lett., 37, pp.797, 1980.

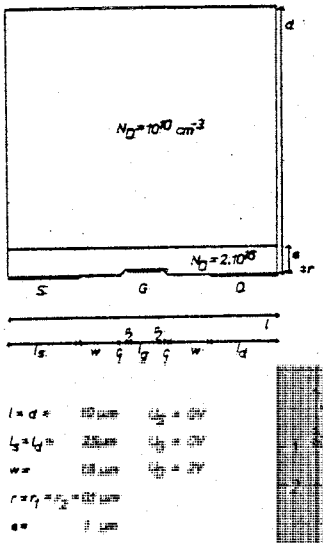


Fig.1 Geometrie

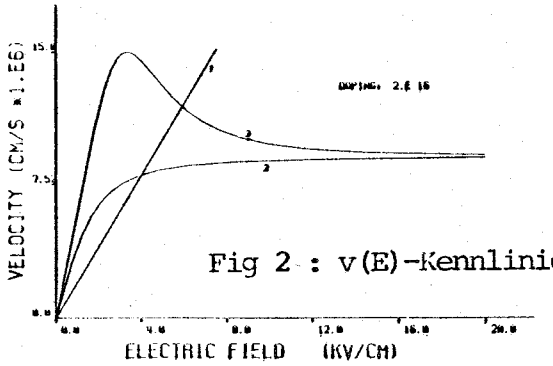


Fig 2 : v(E)-Kennlinien

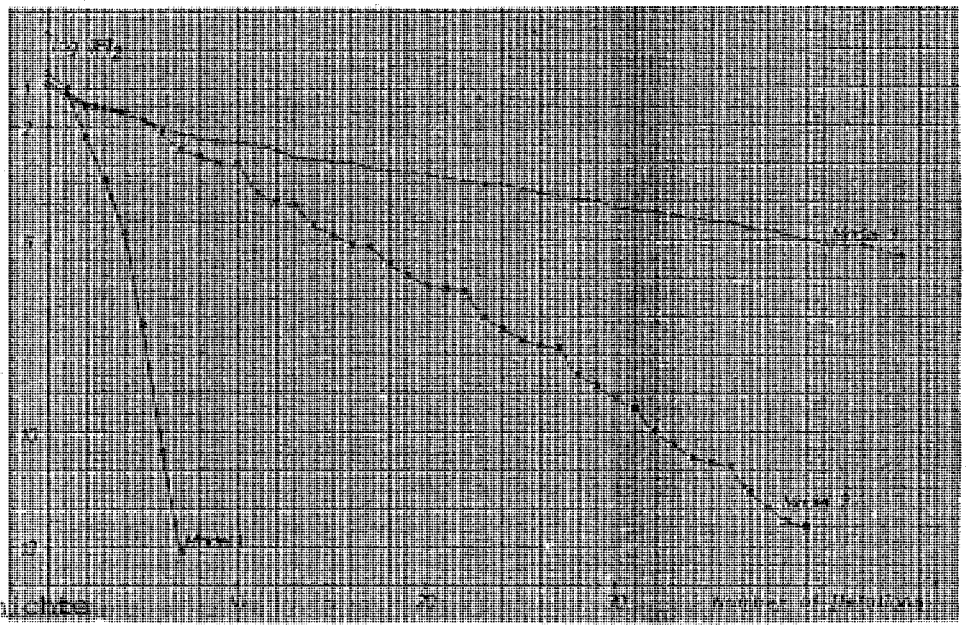


Fig 3 : Iterationsgeschichte

Elektronendichten

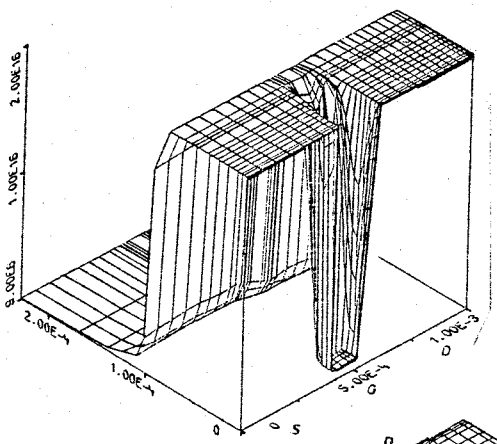


Fig 4: Modell 1

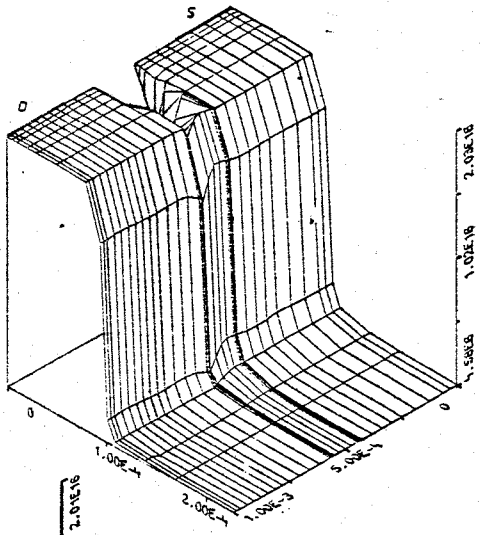


Fig 6: Modell 3

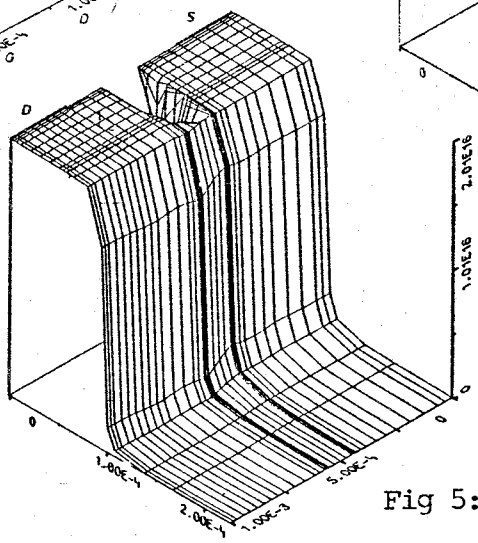


Fig 5: Modell 2

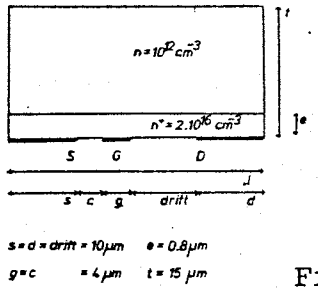


Fig 7: Geometrie

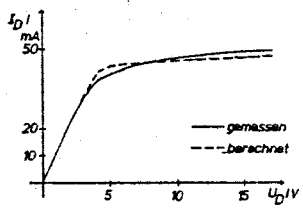


Fig 8: Kennlinien für $U_G = -7$ V

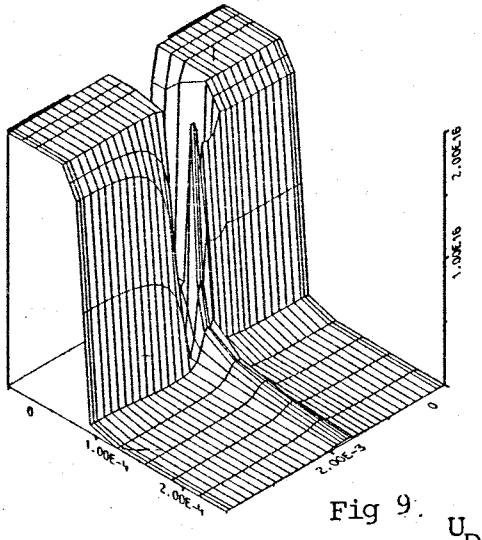


Fig 9: Elektronendichte

$U_D = 12.5$ V

$U_G = -6$ V

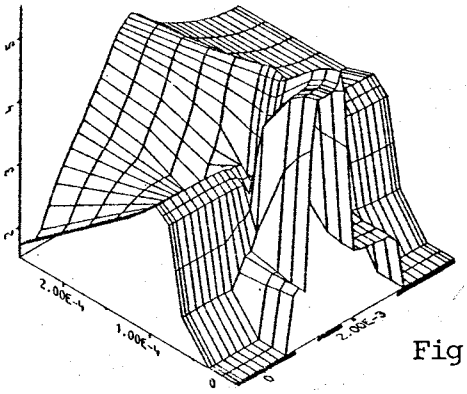


Fig 10: log. Betrag des elektrischen Feldes

$n_1^+ = 2.10^{16}\ cm^{-3}$

$n_2^+ = 10^{15} cm^{-3}$

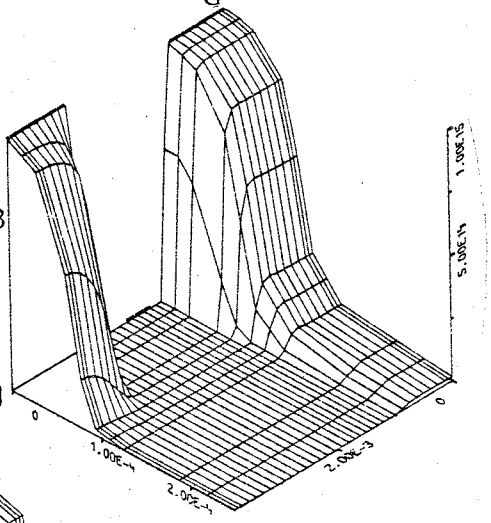


Fig 11

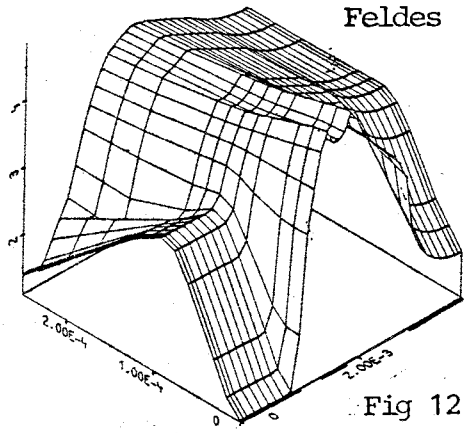
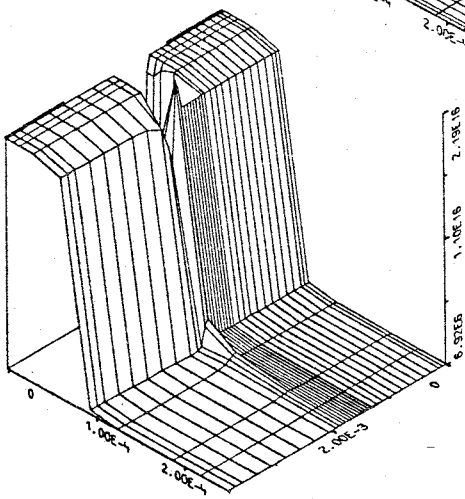


Fig 12



$U_D = 5$ V

$U_G = 0$ V

Fig 13: Elektronendichte

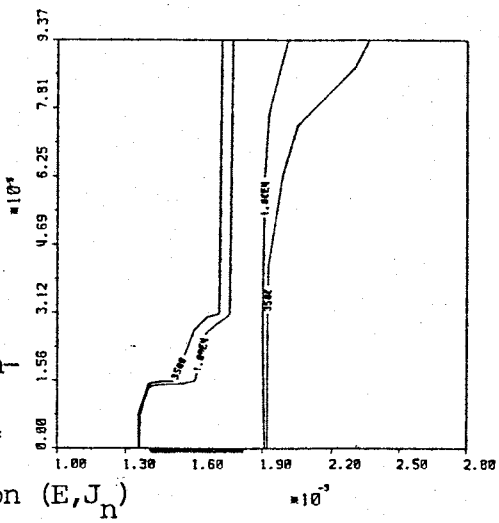


Fig 14

Betrag von (E, J_n)