

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9713

**Modelamento Físico do Sistema
Heteroestrutura - Metal**

**Cecília Wetterle Rodrigues
Megumi Saito**

São Paulo - 1997

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Cecília Wetterle Rodrigues, sob orientação do Prof. Dr. Megumi Saito: "Modelamento Físico do Sistema Heteroestrutura-METAL-HEMT", defendida em 12/03/97, na Escola Politécnica.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

Rodrigues, Cecília Wetterle

Modelamento físico do sistema heteroestrutura-Metal / C.W. Rodrigues, M. Saito. -- São Paulo : EPUSP, 1997.

p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9713)

1. Transistores a efeito de campo I. Saito, Megumi II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série

ISSN 1413-2206

CDD 621.3815284

MODELAMENTO FÍSICO DO SISTEMA HETEROESTRUTURA - METAL.

Cecília Wetterle Rodrigues e Megumi Saito .

Laboratório de Microeletrônica
Escola Politécnica - Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, tr.3, n° 158
CEP : 05508-900 São Paulo - Brasil
e-mail : WETTERLE@USPIF.IF.USP.BR msaito@lme.poli.usp.br

Resumo - O objetivo do presente trabalho é o modelamento físico do sistema heteroestrutura - metal associado ao transistor de efeito de campo HEMT. O modelamento físico deste sistema, baseado em um procedimento auto-consistente no qual são resolvidas, simultaneamente, as equações de Poisson e da massa efetiva, nos permite obter com grande precisão, a cada ponto da heteroestrutura, parâmetros tais como: potencial ; campo elétrico; densidade de cargas, etc...

1. INTRODUÇÃO .

Em 1980, foi proposto por Esaki e colaboradores¹ um novo tipo de transistor de efeito de campo de alta mobilidade denominado HEMT (Hight Electron Mobility Transistor) . Este transistor é composto, fundamentalmente, por uma heteroestrutura² formada pela junção de três materiais : uma liga semicondutora com dopagem n; uma liga semicondutora não dopada e um semicondutor não dopado :



Figura 1 : Heteroestrutura formada por um semicondutor e uma liga não dopada e uma liga dopada .

Devido à diferença entre as funções trabalho³ da liga e do semiconductor, haverá transferência de elétrons da liga dopada para o semiconductor, ficando na liga dopada átomos doadores não compensados. Em virtude da transferência dos elétrons da liga para o semiconductor, formar-se-á no semiconductor um potencial triangular que confinará os elétrons. Devido ao potencial triangular e à descontinuidade de potencial que existe na interface entre a liga e o semiconductor² teremos a formação de um poço triangular no semiconductor. Isto dará origem ao confinamento dos portadores na direção normal à interface liga-semiconductor. Quando a largura do poço for proporcional ao comprimento de onda de De Broglie⁴ dos elétrons aparecerão estados de energia quantizados dentro do semiconductor (os quais rotularemos por E_0 e E_1):

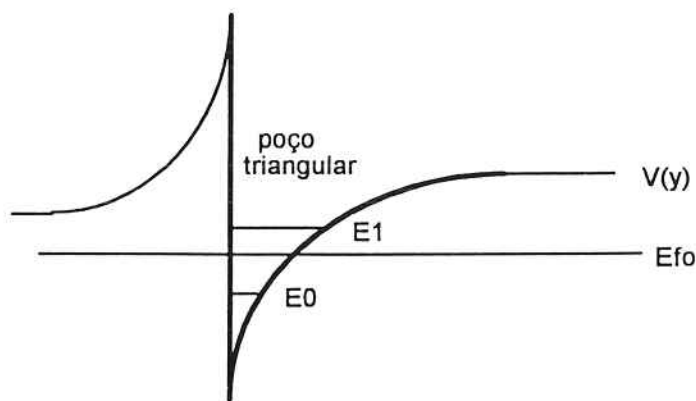


Figura 2 : Formação de um poço triangular de potencial no semiconductor devido à descontinuidade no potencial da interface entre o semiconductor e a liga dopada e ao potencial triangular formado no semiconductor. E_{fo} indica o nível de Fermi do sistema e $V(y)$ o potencial.

Se a distância entre estes estados for maior que KT (onde K é a constante de Boltzmann e T é a temperatura) isto significará que os portadores só poderão se mover ao longo da interface liga-semiconductor. Teremos, então, um gás de elétrons bidimensional no semiconductor. Estes portadores, os quais formam o canal do transistor HEMT, ficam confinados no semiconductor a uma pequena distância da interface liga-semiconductor.

Com o intuito de controlar a densidade dos elétrons no canal, é crescido sobre a liga dopada um metal, denominado porta (ou "gate").

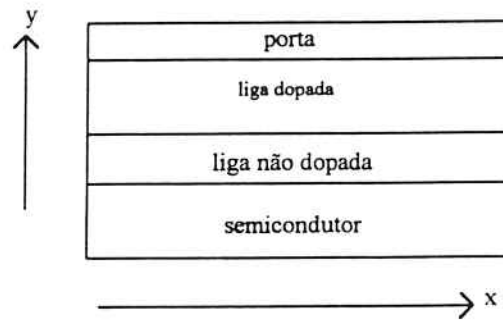


Figura 3 : Sistema formado por um semicondutor , uma liga não dopada, uma liga dopada e um metal que forma um contato Schottky com a liga .

Denominaremos por sistema heteroestrutura-metal ao sistema representado na figura 3. Neste sistema , o metal forma um contato Schottky ⁵ com a liga, havendo, então, transferência de elétrons da liga para o metal formando-se, portanto, uma barreira de potencial na interface entre a liga e o metal:

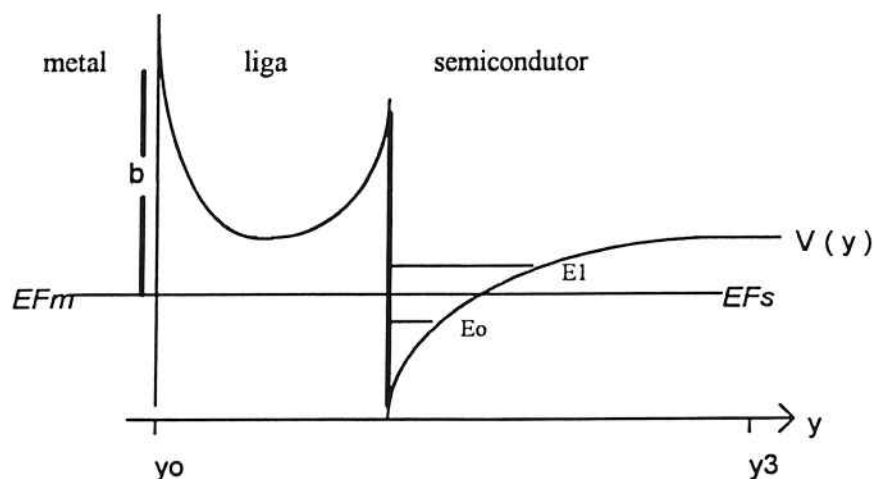


Figura 4 : Potencial (na direção y) para o sistema representado na figura 3 . Os símbolos EF_m , EF_s , $V(y)$ e b se referem, respectivamente, ao nível de Fermi do metal, ao nível de Fermi do semicondutor, ao potencial do sistema e à barreira metal-liga .

A altura da barreira de potencial (simbolizada por b na figura 4) pode ser calculada através da relação :

$$b = q \Phi_m - X \quad (1)$$

onde : b é a altura da barreira metal-liga; Φ_m é a função trabalho do metal e X é a afinidade eletrônica do semicondutor . Neste caso, a diferença em energia entre o nível de

Fermi do semicondutor (E_F s) e o potencial no ponto y_0 é igual à altura da barreira metal-liga e, portanto pode ser expressa pela equação 1 .

O campo elétrico da junção metal-liga interferirá no campo elétrico da junção liga-semicondutor de maneira que a densidade de cargas no gás bidimensional será diminuída em relação à densidade de cargas do sistema sem metal Schottky . A aplicação de uma tensão direta V_G à junção metal-liga fará com que a altura da barreira e o campo elétrico na junção sejam diminuídos, aumentando, assim a densidade de cargas no gás bidimensional. Neste caso, o nível de Fermi da heterojunção "sobe" $q \cdot |V_G|$ em relação ao nível de Fermi do metal e a distância entre o nível de Fermi da heterojunção e o potencial na interface liga-metal (ponto y_0 da figura 4) será dada então por :

$$E_F - V(y_0) = q \Phi_m - X - q \cdot |V_G| \quad (3)$$

Já a aplicação de uma tensão reversa à junção produz o efeito inverso, diminuindo a densidade de cargas .Neste caso, a distância entre o nível de Fermi da heterojunção, o qual "desce" $q \cdot |V_G|$ em relação ao nível de Fermi do metal, e o potencial na interface liga-metal pela expressão :

$$E_F - V(y_0) = q \Phi_m - X + q \cdot |V_G| \quad (4)$$

Uma das características mais importantes do transistor HEMT é a variação da densidade de cargas no gás bidimensional em função da tensão V_G aplicada entre o metal de porta e a liga. A obtenção teórica desta variação pode ser feita através do modelamento físico do sistema heteroestrutura-metal isto é, através da resolução de uma série de equações físicas do sistema . Passamos, agora, a descrever o modelamento físico realizado neste trabalho .

2. TEORIA .

A variação da densidade total de cargas n_s em função da tensão V_G pode ser obtida teoricamente através do modelamento físico do sistema . Neste caso, a densidade total de cargas , geralmente, é calculada através da estatística de Fermi-Dirac , isto é, através da equação ² :

$$n_s = \frac{D}{K.T} \ln \left[\left(1 + \exp \left(\frac{E_f - E_0}{K.T} \right) \right) \left(1 + \exp \left(\frac{E_f - E_1}{K.T} \right) \right) \right] \quad (4)$$

onde : D , K , T , q , E_f , E_0 e E_1 são, respectivamente , a densidade de estados em duas dimensões ², a constante de Boltzmann , a temperatura, a carga do portador , o primeiro estado quantizado , o segundo estado quantizado e o nível de Fermi do sistema . Os estados E_0 e E_1 podem ser calculados através da equação da equação da massa efetiva ⁶ a qual relaciona cada estado E_i e sua autofunção correspondente $\Psi_i(y)$ com o potencial $V(y)$ do sistema (o qual está representado na figura 4) :

$$\frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{d^2}{dy^2} \Psi_i(y) + V(y) \Psi_i(y) = E_i \Psi_i(y) \quad (6)$$

onde m^* é a massa efetiva do portador no ponto y . O potencial $V(y)$ ao qual estão sujeitos os elétrons pode ser encontrado através da equação de Poisson:

$$\frac{d^2}{dy^2} V(y) = -\frac{q^2}{\epsilon(y)} [Nd^+(y) - n(y) - Na^-(y)] \quad (7)$$

onde : $\epsilon(y)$, $Nd^+(y)$, $Na^-(y)$ e $n(y)$ representam , respectivamente, a cada ponto y do sistema : a permissividade elétrica ; a concentração de átomos doadores ionizados ; a concentração de átomos aceitadores e a concentração de portadores. As grandezas $Na^-(y)$ e $Nd^+(y)$ podem ser escritas³ em função da concentração de átomos aceitadores (Na), da concentração de átomos doadores (Nd) e das distâncias E_a (do nível aceitador $E_A(y)$ ao topo da faixa de valência $E_v(y)$) e E_D (do nível doador $E_D(y)$ ao fundo da faixa de condução $E_c(y)$) :

$$Na^-(y) = \frac{Na(y)}{1 + 4 \cdot \exp \left(\frac{V(y) - E_a - E_F}{K.T} \right)} \quad (8)$$

$$Nd^-(y) = \frac{Nd(y)}{1 + 2 \exp \left(\frac{EF + ED - V(y)}{K.T} \right)} \quad (9)$$

A concentração de portadores a cada ponto y do sistema ($n(y)$) pode ser calculada como um produto entre a densidade total de cargas n_s (calculada através da equação 4) e a probabilidade de se encontrar o portador no ponto y . Esta probabilidade é fornecida pelo quadrado das funções $\Psi_i(y)$ que aparecem na equação 6. Portanto:

$$n(y) = n_s \cdot |\Psi_i(y)|^2 \quad (10)$$

Para que a densidade total de cargas n_s possa ser encontrada devemos resolver simultaneamente as equações 6 e 7. O potencial $V(y)$ presente nestas equações deve obedecer a duas condições de contorno. A primeira condição de contorno diz respeito ao "bulk" do semiconductor isto é, o ponto y_3 da figura 4, o qual representa o início de uma região do semiconductor não atingida pelo potencial perturbativo da heterojunção. Esta região tem, portanto, as mesmas características do semiconductor antes do contato com a liga. Assim sendo, o campo elétrico em y_3 é igual a zero e, portanto, a primeira derivada do potencial também será igual a zero:

$$\frac{dV(y)}{dy} = 0 \quad (11)$$

A segunda condição de contorno diz respeito ao potencial na interface metal-liga (isto é, no ponto y_0). Como vimos, a diferença em energia entre o nível de Fermi do semiconductor e o potencial no ponto y_0 pode ser expresso, dependendo da tensão V_G , através das equações 1, 2 ou 3, as quais podem ser sumarizadas como:

$$E_F - V(y_0) = q \Phi_m - X \pm q \cdot |V_G| \quad (12)$$

Utilizando as condições de contorno acima citadas e as equações 6 e 7 podemos fazer o cálculo da densidade total de cargas no semiconductor. No entanto, para se obter a densidade de cargas precisamos dos valores de E_0 e E_1 que nos são fornecidos pela equação 6. Esta equação por sua vez necessita, para ser resolvida, do potencial $V(y)$ o qual pode ser obtido resolvendo-se a equação de Poisson (equação 7). No entanto, para que o primeiro termo desta equação possa ser calculado (equação 10) devemos conhecer os valores de E_0 e E_1 . Ou seja, para se calcular a densidade total de cargas necessitamos conhecer o valor do potencial $V(y)$ o qual depende, por sua vez, do cálculo

da densidade total de cargas para que possa ser calculado. Isto indica que precisamos utilizar algum método auto-consistente de cálculo para resolver o problema. No nosso caso, a solução autoconsistente é a seguinte :

I . Vamos atribuir ao potencial $V(y)$ um valor escolhido arbitrariamente como :

$$V(y) = (q n_s / \epsilon) (Z(y) - Z(y_1)) A(I) + \text{BAR}(I)$$

onde: $V(y)$ é o potencial no ponto y ; $A(I)$ é uma constante que vale -1 na liga e 1 no semiconductor ; $\text{BAR}(I)$ representa a altura da barreira semiconductor-liga valendo $(-\Delta EC)$ no semiconductor e zero na liga ; $Z(y_1)$ é a coordenada (em relação à interface liga-metal) da interface liga-semiconductor , $Z(y)$ é a coordenada do ponto y e n_s representa a densidade total de cargas no gás bidimensional . Como não possuímos o valor de n_s nós o escolhemos arbitrariamente (no nosso programa este n_s inicial deve estar entre 5.0 e $8.5 \cdot 10^{11} \text{cm}^{-2}$, caso contrário, o programa não roda). Denominaremos a este potencial por **potencial de entrada** e o indicaremos por $V_0(y)$;

II . A seguir , utilizando o potencial de entrada $V_0(y)$ resolvemos a equação 6 através do mesmo método que será utilizado no item **III** (descrito logo a seguir) para resolver a equação de Poisson e obtemos, então os elementos $\Psi_i(y)$ e E_i ;

III . De posse dos elementos $\Psi_i(y)$ e E_i podemos , utilizando as equações 7, 8, 9 e 10 e o método das diferenças finitas⁷ calcular o potencial , o campo elétrico e a densidade de cargas a cada ponto y do sistema .

III-1. Considerar como primeiro ponto de integração o ponto y_3 ;

III-2. Para o ponto y_3 o campo elétrico e , portanto a primeira derivada do potencial , é igual a zero:

$$-\frac{dV(y_3)}{dy} = 0$$

III-3. Tomamos como zero de energia do sistema o potencial no ponto y_3 :

$$V(y_3) = 0$$

III-4. Como não conhecemos o valor do nível de Fermi atribuímos arbitrariamente à esta grandeza o valor zero ;

III-5. Conhecidos o potencial , sua primeira derivada , o nível de Fermi e os elementos Ψ_i e E_i (os quais foram calculados no passo II) poderemos, utilizando as equações 4, 7, 8 e 9, calcular a segunda derivada do potencial para o ponto y_3 ;

III-6. Com o valor do potencial e de suas derivadas para o ponto y_3 podemos, utilizando o método das finitas diferenças onde o potencial e sua primeira derivada são, respectivamente, expressos como :

$$\frac{dV(y)}{dy} = \frac{dV(y+1)}{dy} - dz \frac{d^2V(y+1)}{dy^2} \quad (13)$$

$$V(y) = V(y+1) - dz \frac{dV(y)}{dy} \quad (14)$$

calcular o potencial e sua primeira derivada para o ponto y_{3-1} . Para isto basta considerar $y = y_{3-1}$ nas equações 13 e 14 ;

III-7. Calculado o potencial para o ponto y_{3-1} podemos , utilizando as equações 4, 7, 8 e 9 calcular a segunda derivada do potencial para o ponto y_{3-1} ;

III-8. Repetindo o ciclo 6-7 para os pontos y_{3-2} , y_{3-3} , ... y_0 podemos calcular o potencial e suas derivadas primeira e segunda para todos os pontos do sistema ;

III-9. Comparamos, então, o potencial obtido para o ponto $y = y_0$ com o nível de Fermi E_F . Se a diferença entre o nível de Fermi e o potencial no ponto y_0 obedecer à condição de contorno metal-liga (equação 12) o nível de Fermi foi escolhido corretamente e, portanto, obtivemos , através do método das finitas diferenças , o potencial correto para o sistema . Podemos , então, passar ao próximo passo do cálculo . Caso a condição de contorno não se verifique, damos um pequeno acréscimo δ ao nível de Fermi tentativa E_{fs} e, retornando ao item 5 , reiniciamos os cálculos . O ciclo 5-9 deve ser repetido até que a condição de contorno metal-liga se verifique . Quando isto acontecer , podemos passar ao próximo passo do cálculo.

IV. Vamos denominar ao potencial obtido no passo anterior por $V_1(y)$. A seguir , vamos compará - lo com o potencial de entrada $V_0(y)$. Caso

$$V_1(y) - V_0(y) < S$$

(onde S é um número entre 10^{-3} e 10^{-5} dependendo da precisão do cálculo) os cálculos são ditos convergidos . Caso contrário, escolhemos um novo potencial tentativa $V0(y)$, formado de uma mistura do potencial de saída $V1(y)$ e do potencial de entrada $V0(y)$:

$$V0(y) = V1(y) \cdot \beta + (1 - \beta) \cdot V0(y) \quad (15)$$

(onde β é um número entre zero e um) e , retornando ao passo II (4.3.2.2) reiniciamos os cálculos .

3. RESULTADOS OBTIDOS .

Passemos, agora, aos resultados obtidos . Utilizando o modelamento acima descrito, obtivemos a relação entre a densidade total de cargas n_s em função da tensão V_G aplicada ao metal para tres sistemas heteroestrutura-metal. Todas as heteroestruturas são formadas por um semiconductor de Arseneto de Gálio , uma liga não dopada de Arseneto de Gálio Alumínio (cuja porcentagem de Alumínio na liga é de 30%) e uma liga dopada de Arseneto de Gálio Alumínio (com 30% de Alumínio). O primeiro sistema apresenta as seguintes características : uma camada de semiconductor não dopado de 800 Å de espessura; uma camada de liga não dopada de 65 Å de espessura ; uma camada de liga dopada com 400 Å de espessura e cuja dopagem tipo n é da ordem de $0.6 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ e uma camada de metal (cuja espessura não entra no cálculo) . O segundo sistema apresenta as seguintes características : uma camada de semiconductor não dopado de 200 Å de espessura; uma camada de liga não dopada de 50 Å de espessura ; uma camada de liga dopada com 300 Å de espessura e cuja dopagem tipo n é da ordem de $1.0 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ e uma camada de metal . O terceiro sistema apresenta as seguintes características : uma camada de semiconductor não dopado de 1000 Å de espessura; uma camada de liga não dopada de 75 Å de espessura ; uma camada de liga dopada com 550 Å de espessura e cuja dopagem tipo n é da ordem de $1.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ e uma camada de metal. Nas figuras 5, 6 e 7 apresentamos nossos resultados juntamente com os de Vinter⁸ e Pathil⁹ . Conforme podemos observar nossos resultados estão em excelente acôrdo com os resultados obtidos pelos autores .

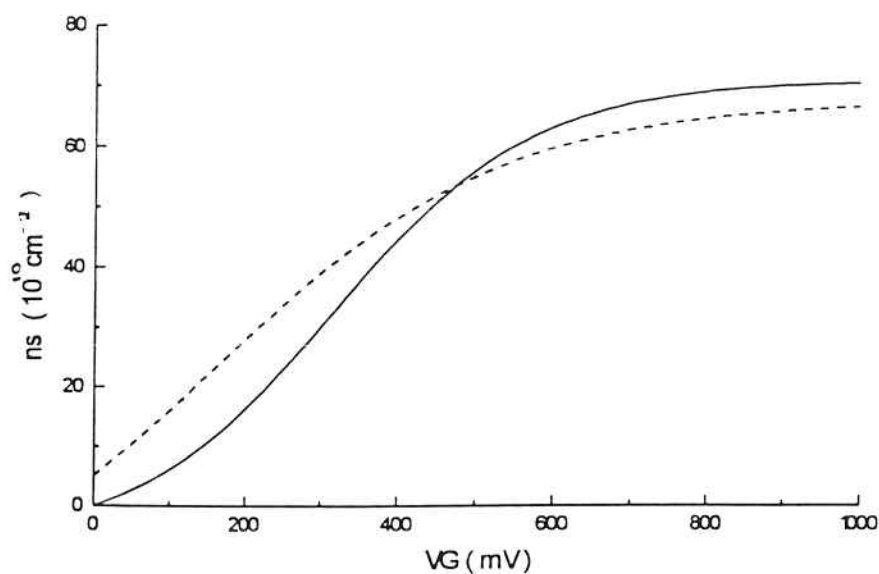


Figura 5 : Variação da densidade total de cargas (ns) em função da tensão aplicada ao metal de porta (VG) . Linha sólida : resultados obtidos por Vinter ⁸ ; linha pontilhada : resultados obtidos no presente trabalho .

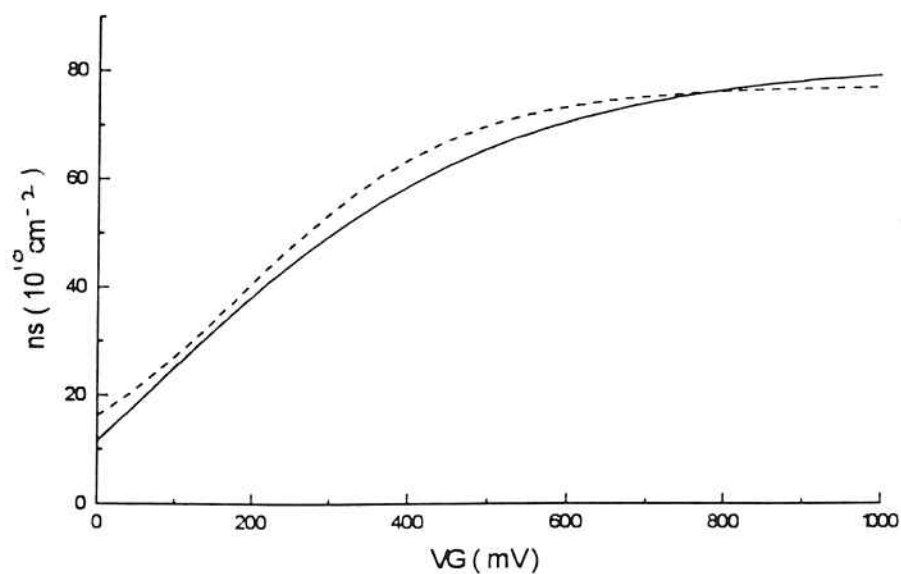


Figura 6 : Variação da densidade total de cargas (ns) em função da tensão aplicada ao metal de porta (VG) . Linha sólida : resultados obtidos por Pathil ⁹ ; linha pontilhada : resultados obtidos no presente trabalho .

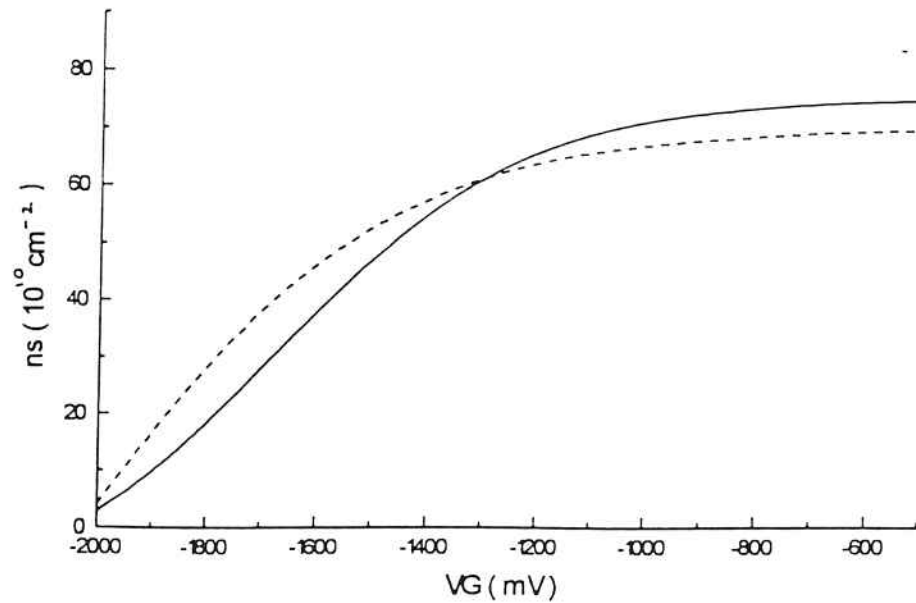


Figura 7 : Variação da densidade total de cargas (ns) em função da tensão aplicada ao metal de porta (VG). Linha sólida : resultados obtidos por Vinter⁸; linha pontilhada : resultados obtidos no presente trabalho.

4. CONCLUSÕES.

No presente trabalho obtivemos, através da resolução conjunta das equações de Poisson e da massa efetiva, a variação da densidade total de cargas no gás bidimensional em função da tensão aplicada ao metal de porta. Os resultados obtidos mostraram-se muito próximos aos obtidos pela literatura permitindo-nos concluir que o método empregado pode ser utilizado com bastante segurança.

5. REFERÊNCIAS .

1. ESAKI, L. ; TSU, R. **IBM Research Report No RC - 2418**, 1980 .
2. WEISBUCH, C. Fundamental Properties of III - IV Semiconductor Two Dimensional Quantized Structures : The Basis for Optical and Electronic Device Applications . **Semiconductors and Semimetal** , New York, Academic Press , 1987 .
3. SZE , S.M. **Physics of Semiconductor Devices** . 1.ed . New York , Willey & Sons , 1969 .
4. EISBERG , R. M. **Fundamentals of Modern Physics** . 3.ed. New York , John Willey & Sons , 1979 .
5. GROVE, A. S. **Physics and Technology of Semiconductors Devices** . 1.ed New York , John Willey & Sons , 1968 .
6. LUTTINGER, J. M. ; KOHN, W. Motion of Electrons and Holes in Perturbed Periodic Fields . **Physical Review** , v. 97 , p. 869 , 1955
7. KOPCHENOVA, N.V. ; MARON, I.A. **Computational Mathematics**. 2 ed. Moscow , Mir , p. 212, 1979.
8. VINTER , B. Subbands and charge control in a two-dimensional electron gas field effect transistor . **Applied Physical Letter** , v.44 , p.307, 1984
9. PATHIL, M. B. Self-consistent calculation of electron density in a two chanel modulation doped structure . **Solid State Eletronic** , v.33 , p. 99 1990 .

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- BT/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Condutoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINALIA, ANTONIO ROBERTO PANICALI
- BT/PEE/9304 - Sistema de Otimização e Controle de Produção em Minas de Pequeno e Médio Porte - TSEN CHUNG KANG, VITOR MARQUES PINTO LEITE
- BT/PEE/9401 - Determinação das Frases de Aplicação Forense para o projeto NESPER e Tese de Mestrado IME/94, com Base em Estudos Fonéticos - MARCONI DOS REIS BEZERRA, EUVALDO F. CABRAL JUNIOR
- BT/PEE/9402 - Implementação e Teste de uma Rede Neural Artificial do Tipo KSON (Kohonen Self-Organizing Network) com Entradas Bidimensionais - MARCELO YASSUNORI MATUDA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9403 - Transformada de Walsh e Haar Aplicadas no Processamento de Voz - ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9404 - Aplicação de Redes Neurais ao Problema de Reconhecimento de Padrões por um Sonar Ativo - ALEXANDRE RIBEIRO MORRONE, CRISTINA COELHO DE ABREU, EDUARDO KOITI KIUKAWA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9405 - Tudo que se Precisa Saber sobre a Prática da FFT - Transformada Rápida de Fourier (Inclui Software) - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9406 - A Survey on Speech Enhancement Techniques of Interest to Speaker Recognition - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9407 - Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, MÁRCIO A. MATHIAS, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9408 - Implementação e Teste de Filtros do Tipo Adaptativo e "Notch" para a Remoção de Interferência de 60 Hz em Sinais de Eletrocardiograma - FLÁVIO ANTÔNIO MENEGOLA, JOSÉ AUGUSTO DE MATTOS, JOSÉ GOMES G. FILHO, SIDNEY SILVA VIANA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9409 - Compressão de Sinais de Voz utilizando Transformadas de Karhunen-Loève, Fourier e Hadamard - IVAN LUIS VIEIRA, LUIZ FERNANDO STEIN WETZEL, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9410 - "Ray Tracing" Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para "Gate-Arrays" Tipo Mar de Portas - JORGE W. PERLAZA PRADO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9412 - Tudo que se Precisa Saber Sobre a Teoria da FFT - Transformada Rápida de Fourier - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9413 - Análise do Ruído Sonoro em uma Sala de Aquisição de Amostras de Som com Microcomputador - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9414 - Cor: Aspectos Relevantes para Visualização de Dados - SÍLVIA DELGADO OLABARRIAGA
- BT/PEE/9415 - Projeto de Filtros Digitais IIR com Fase Aproximadamente Linear Utilizando Redução de Ordem - IVAN F. J. RODRIGUES, MAX GERKEN
- BT/PEE/9416 - GERA-FILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais "IIR" (da especificação em alto nível ao leiaute do "ASIC") - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9501 - Estudo Comparativo de Métodos de Cálculo da Frequência Fundamental - MARCOS COSTA HUNOLD, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9502 - Combinando Técnicas de Redes Neurais Artificiais e Informações de Excitação no Reconhecimento Automático do Locutor - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9503 - Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Identificação de Falhas em Circuitos - MÁRCIO YUKIO TERUYA, ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9504 - Uso de Redes Neurais Artificiais no Reconhecimento de Locutores no Domínio Temporal - BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JÚNIOR, EUVALDO CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9505 - Projeto de Filtros Passivos e Ativos em Técnicas de Circuitos Integrados de Microondas - DAVID VIVEIROS JÚNIOR, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9506 - Uma Análise de *Clustering* para as Frases de Projeto NESPER - RONALDO OLIVEIRA MESSINA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9507 - Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes - Um Estudo para Aplicação em Controle Carga-frequência da Geração - JOSE PAULO F. GARCIA, JOCELYN FREITAS BENNATON
- BT/PEE/9508 - Recuperação das Margens de Ganho e de Fase para Sistemas de Fase Não Mínima por Realimentação da Saída - MARCO H. TERRA, VITOR M. P. LEITE
- BT/PEE/9509 - Sistema de Inspeção Óptica de Dispositivos Bi-Dimensionais - CASIMIRO DE ALMEIDA BARRETO, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- BT/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTÔNIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruídos em Sinais de Voz Visualizados em Trajetórias Neurais de Kohonen - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9601 - "Um Reconhecedor de Sinais Sonoros Utilizando LVQ" - ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9602 - "Coleção Artificial Neural Networks: Uma Visão Geral dos Sistemas Neurais Artificiais de Stephen Grossberg" - CHIU HSIUNG HUANG
- BT/PEE/9603 - "Reactively-Sputtered TiN Formation Using a RF Magnetron System" - SÉRGIO PAULO AMARAL OSÓRIO, LUIZ SÉRGIO ZASNICOFF
- BT/PEE/9604 - Aspectos em Tradução de Linguagens Naturais Através de Redes Neurais Artificiais - CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9605 - Implementação de Blocos Passa-Tudo Utilizando Realimentação de Erro - SÉRGIO JOSÉ CARNEIRO LEÃO, MAX GERKEN
- BT/PEE/9606 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9607 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Steinbuch - ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9608 - Desenvolvimento de uma Estrutura de Duplo Nível de Metal para a Confeção de Interconexões em Circuitos Integrados - JOSÉ AUGUSTO DE ALENCAR PEREIRA, LUIZ CARLOS MOLINA TORRES

BT/PEE/9609 - Determinação de Parâmetros de Processo para Fotomáscara "Balzers" Utilizando Gerador de Padrões - JORGE SEKI, MEGUMI SAITO

BT/PEE/9610 - Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos - PEDRO F. ROSA, JOÃO A. ZUFFO

BT/PEE/9611 - Interpretações Teóricas do Funcionamento Cerebelar: Uma Revisão - MARCUS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FÁBIO KOHN

BT/PEE/9612 - Marcapasso Cardíaco Temporário Microcontrolado de Demanda e Baixo Consumo - FLAVIO ANTONIO MENEGOLA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9613 - Um Sistema de Planejamento de Ação Baseado em Casos para uma Célula Flexível de Manufatura - RICARDO LUIS DE FREITAS, MÁRCIO RILLO

BT/PEE/9614 - Aplicações do Boundary-Scan para o Teste de Módulos Multichip - ROBERTO C. COSSI JR., JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS

BT/PEE/9615 - A 2.488 Gb/s GaAs 1:4/1:16 Demultiplexer IC with Skip Circuit for Sonet STS-12/48 Systems - TAUFIK ABRÃO, FATIMA S. CORRERA

BT/PEE/9616 - Uma Contribuição para a Construção de Algoritmos em Projetos de Redes - ALLAN DE SOUZA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

BT/PEE/9617 - Análise Crítica dos Métodos de Medição do Intervalo QT do Eletrocardiograma - SÍDNEY DA SILVA VIANA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9618 - Deposição e Caracterização de Filmes de SiO₂ Crescidos pela Técnica de PECVD a Baixa Temperatura - MARCO ALAYO CHÁVEZ, INÉS PEREYRA

BT/PEE/9619 - PARSTOOL: Uma Ferramenta de Auxílio à Simulação de Sistemas Paralelos - LI KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO

BT/PEE/9620 - Análise de um Método de Otimização por Malha no Treinamento de Robôs - OLÍMPIO MURILO CAPELI, JOSÉ CARLOS T. B. MORAES, SADA O ISOTANI

BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCHE, LAÉRCIO LUCCHESI

BT/PEE/9702 - Analysis of the Subthreshold Slope Transition Region in SOI nMOSFET - VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO

BT/PEE/9703 - Introduction of the SOI MOSFET Dimensions in the High-Temperature Leakage Drain Current Model - MARCELO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE

BT/PEE/9704 - Controle de Largura de Banda Dinâmica para Transmissões *Multicast* para Redes de Alta Velocidade - SANG SOON LEE, SERGIO TAKEO KOFUJI

BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA

BT/PEE/9706 - Aplicações de Redes Neurais em Previsões Financeiras - OLÍMPIO MURILO CAPELI, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9707 - Sistema Microcontrolado, Multicanal e Portátil para Estimulação Neuromuscular Funcional - ROGÉRIO QUIARIM ZARZA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES

BT/PEE/9708 - Requisitos para o Mapeamento Tecnológico em Projetos de Microeletrônica - LUCIANO DE OLIVEIRA CORRÊA DE BRITO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS

BT/PEE/9709 - Sistemas PRMA com Dados Acoplados - JOSÉ AUGUSTO DE LIMA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY

BT/PEE/9710 - Algoritmos Genéticos (AG's) para a Otimização de Controladores Nebulosos - JULIO CESAR CEBALLOS AYA, OSWALDO L. V. COSTA

BT/PEE/9711 - Um Estudo Sobre a Redução de Ruídos em Sinais Caóticos - ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA, EUVALDO F. CABRAL JR.

BT/PEE/9712 - Geradores não Lineares de Sequência para uso em Sistemas Spread Spectrum - ANGEL ANTONIO GONZALEZ MARTINEZ, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZKY