

# **Estudo de Contato Ôhmico em Camadas de GaAs Tipo p e n**

Aluna: Carla Azimonte

Orientador: Prof. Dr. Newton C. Frateschi

## **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo o estudo de contatos ôhmicos em arseneto de gálio (GaAs), com dopagem tipos p e n. Os contatos tipo p são obtido com a metalização com Ti/Pt/Au, enquanto os tipo n, utilizam-se Au/Ge/Ni/Au. Estudamos as diferenças da obtenção destes contatos para as duas polaridades de dopagem. Mais ainda, investigamos os efeitos da utilização de difusão superficial de zinco para melhorar os contatos tipo p.

As resistividades neste trabalho são obtidas através de medidas seguindo o método Kuphal<sup>1</sup> em amostras preparadas por litografia e lift-off convencionais.

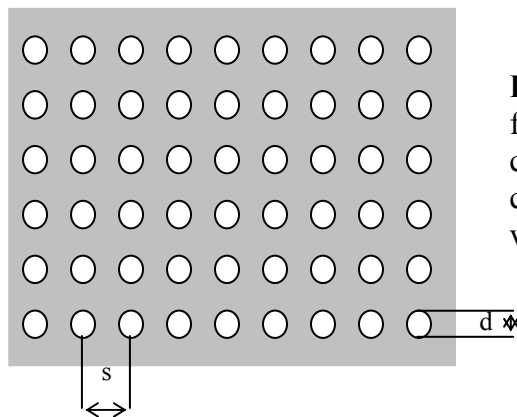
## **Introdução**

O estudo de contato ôhmico é muito importante para o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos em geral. Um bom contato ôhmico possibilita o comportamento linear de corrente versus voltagem entre circuitos externos e dispositivos semicondutores. Além disso, um bom conato ôhmico deve ter baixa resistênmcia e portanto deve resultar na redução da potência dissipada por efeito Joule. Com isso, a conexão entre sistema externo e dispositivo semicondutor é totalmente transparente, além do fato deste poder operar sob correntes mais elevadas com o risco de danos provocado por altas temperaturas sendo minimizado.

Há dois tipos de contatos: o tipo liga e o tipo Shottky. Geralmente, a primeiro é o mais provável de possibilitar uma característica ôhmica enquanto que o segundo pode propiciar uma característica ôhmica apenas se houver uma densidade alta de portadores na superfície<sup>2</sup>.

Neste trabalho realizamos o estudo de contatos ôhmicos em um substrato de GaAs  $n^+$  dopado com Si e também em uma camada de arseneto de gálio (GaAs) dopado com Be crescida epitaxialmente pelo sistema CBE (Chemical Beam Epitaxy). Os contatos tipo n em geral são realizados com Au/Ge/Ni/Au, são do tipo liga. Nos contatos tipo liga só são obtidas baixa resistividade e linearidade após tratamento térmico. Já o contato tipo p, é em geral do tipo Schottky, onde Ti/Pt/Au são depositados numa camada altamente dopada. Estes contatos dependem do nível de dopagem da amostra, devem estabelecer contato sem a necessidade da difusão de nenhuma material do contato no semiconductor. A difusão superficial de Zn em substratos de GaAs podem resultar numa alta dopagem tipo p. Portanto, estudaremos os efeitos da difusão superficial de zinco, realizada previamente à evaporação, na resistividade do contato feito Esta é obtida pelo tratamento térmico após a evaporação metal.

A forma de avaliação dos contatos envolveu medidas e análise das suas resistividades obtidas pelo Método Kuphal. Esse método consiste na análise das resistências de pequenos contatos circulares metálicos sobre as amostras, conforme a figura 1.



**Figura1.** máscara utilizada na fotogração, onde  $d$  é o diâmetro do círculo( $150\mu\text{m}$ ) e  $s$  é o espaçamento de centro a centro entre círculos vizinhos( $750\mu\text{m}$ ).

O processamento dos contatos foi realizado através de fotolitografia óptica, utilizando uma máscara adequada, e posterior metalização com Ti/Pt/Au e Au/Ge/Ni para amostras do tipo p e n, respectivamente. Para cada um dos grupos de dopagem, as amostras foram submetidas a um tratamento térmico (alloy) em um forno RTA (rapid thermal annealing) em diferentes temperaturas, variando de 350 a 480°C.

O trabalho realizado será descrito em três tópicos numerados de (I) a (III). Serão descritos, no item (I), o processamento da amostra para a medida, no item (II), os dados e análise das medida e para finalizar no item (III) a conclusão.

## **(I) Descrição do Processamento da Amostra**

### **I.1) Amostras:**

As amostras utilizadas no estudo do contato ôhmico foram: Um substrato de GaAs  $n^+$  dopado com Si a  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  e uma camada de 2000Å de arseneto de gálio (GaAs) dopado com Be com uma dopagem em torno de  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ , crescida epitaxialmente sobre um substrato semi-isolante de GaAs em um sistema CBE (Chemical Beam Epitaxy).

### **I.2) Difusão de Zn:**

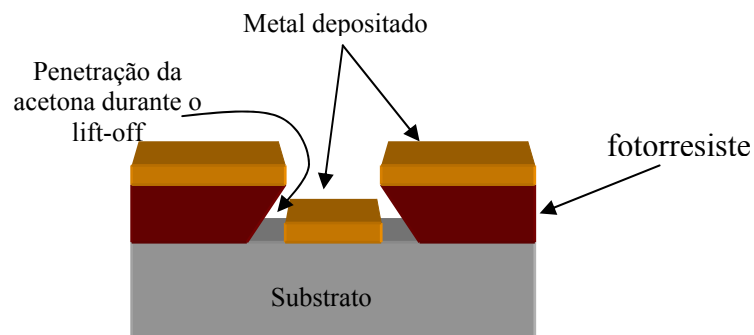
Utilizamos o método de ampola selada para fazermos a difusão de Zn em um pedaço da amostra do tipo p com a finalidade de aumentar o número de portadores na sua superfície, objetivando com isso , uma diminuição do valor da sua resistividade e poder compara-la com a amostra sem difusão. Este método consiste em colocarmos a amostra (GaAs) dentro de uma ampola de quartzo com uma fonte de difusão ( $\text{Zn}_3\text{As}_2$ ). Esta ampola é selada e então levada a um forno a uma temperatura de 620°C por um tempo de 5 min. A profundidade da difusão esperada nestas condições é de aproximadamente 1000Å.

### **I.3) Preparação da amostra para medidas:**

A segunda etapa do processo é a fotografação para a configuração dos contatos. Esta pode ser de dois tipos: positiva ou negativa. As amostras, cobertas com fotorresiste, são colocadas num spinner que gira com rotação pré-calibrada (4000rpm) e o excesso do produto é retirado por centrifugação durante 30s, deixando-o com a espessura correta (1,4µm) para a fotografação. As amostras, após passarem pela placa quente (110°C) por 2 min (fotografação positiva), são levadas à fotoalinhadora, um equipamento constituído de

um microscópio que permite observar a máscara e a amostra sobrepostas. Neste equipamento também se faz a exposição em U.V. ( $\lambda=400\text{nm}$ ) a  $10\text{mW}/\text{cm}^2$  com intensidade constante (CI) para a sensibilização do fotorresiste. No processo de exposição utilizamos a máscara com medidas específicas para o método Kuphal, com círculos de diâmetro  $150\mu\text{m}$  e espaçamento de centro a centro entre círculos vizinhos de  $750\mu\text{m}$ , conforme é mostrado na figura 1. Após a exposição de 20s ao U.V., revela-se a parte sensibilizada com revelador AZ400 (3H<sub>2</sub>O:1AZ400) por 20s. Este é o processo positivo. O processo negativo tem a parte não exposta ao U.V. sensibilizada. Para isso, após a exposição, faz-se um novo tratamento térmico e uma exposição total ao U.V., novamente.

O fotorresiste protege as estruturas fotogravadas dos ataques químicos. Também o faz para a metalização. No caso da metalização, o fotorresiste permite o lift-off, que é a remoção através jateamento e imersão em acetona de metal e fotorresiste depositados na amostra fotogravada deixando o metal apenas nas partes não protegidas pelo fotorresiste. Devido a diferença de espessura entre o metal depositado e o fotorresiste, o solvente penetra pelas faces do fotorresiste para começar a remoção. Um esquema da metalização para lift-off pode ser vista na figura2 .



**Figura 2:** deposição de metal e a camada de fotorresiste para o lift-off.

O processo seguinte será a metalização e em seguida o lift-off. O processo de fotogravação negativo tem o melhor perfil para o lift-off, porém utilizamos o processo positivo que é específico para o tipo de máscara utilizada e também permite o lift-off.

A metalização é realizada por evaporação em uma máquina que chamamos de evaporadora de metais. Essa máquina é composta por uma câmara de ultra alto vácuo ( $\sim 1 \times 10^{-7}$  mTorr), um conjunto de cadinhos contendo as fontes metálicas para a evaporação e possui também um canhão de elétrons para aquecer os cadinhos. O canhão de elétrons é composto por um filamento de tungstênio que é aquecido por uma alta corrente. O filamento aquecido emite elétrons por emissão termoiônica. Estes elétrons são direcionados ao cadinho por duas placas de ímãs permanentes e sua posição precisamente ajustada com eletroímãs. O feixe de elétrons incidentes aquece o metal e faz com que ele evapore. O metal evaporado é depositado sobre a amostra. Como a câmara de evaporação trabalha em ultra-alto-vácuo, as partículas de metal evaporado têm uma trajetória balística pois o livre caminho médio é da ordem de 50cm. A taxa de evaporação é controlada pela corrente do filamento emissor de elétrons que aquece o metal. O controle da espessura depositada é feito por um cristal oscilador cuja frequência de ressonância varia com a espessura do material depositado sobre ele.

Em nossa amostra do tipo p com e sem difusão depositamos cerca de 2800Å de Ti/Pt/Au, sendo 300Å de titânio, 500Å platina e 2000Å de ouro. Na amostra do tipo n depositamos Au/Ge/Ni/Au numa espessura total de aproximadamente 2500Å. Em seguida fizemos o lift-off e posteriormente um tratamento térmico em forno RTA de 350°C até 480°C pelo tempo 20s em atmosfera de gás mistura-verde (nitrogênio com 2% de hidrogênio). Depois fizemos a caracterização dos contatos através da medida da resistividade pelo método Kuphal.

## **(II)Dados e Análise**

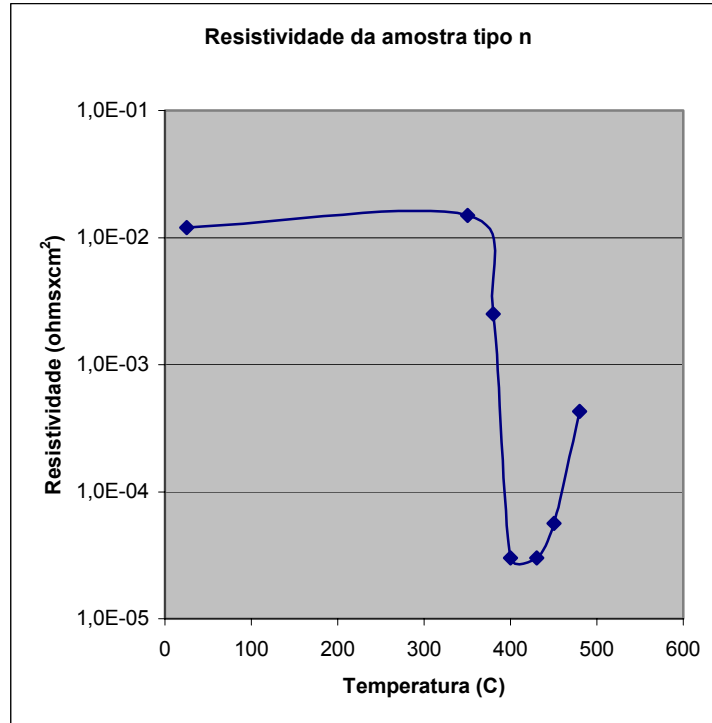
Abaixo, mostramos nossos resultados de resistividade para as amostras acima após o tratamento térmico sob diversas temperaturas. As resistividades  $\rho_c$  são convenientemente dadas em  $\Omega\text{cm}^2$ , definida como a resistência de um contato de  $1\text{ cm}^2$ . Portanto, para obter-se a resistência do contato para um contato de área  $A$ , dada em  $\text{cm}^2$ , faz-se  $R_c = \rho_c / A (\text{cm}^2)$ .

## II.1) Amostra GaAs tipo n<sup>+</sup>

Temperatura(°C)	Resistividade( $\Omega\text{cm}^2$ )
350	$1.5 \times 10^{-2}$
380	$2.5 \times 10^{-3}$
400	$3 \times 10^{-5}$
430	$3 \times 10^{-5}$
450	$5.6 \times 10^{-5}$
480	$4.3 \times 10^{-4}$

Resistividade sem tratamento térmico:  $1.2 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}^2$

A figura 3 mostra a resistividade obtida para a amostra de n-GaAs com contatos de Au/Ge/Ni/Au em função da temperatura do tratamento térmico em mistura verde por 20 s. Observamos que a resistividade de contato na amostra tipo n tem uma grande variação com a temperatura. A temperatura ótima de tratamento está em torno de 410 °C. Tal mínimo se encontra estável dentro de 20 °C. Fora deste intervalo a resistividade aumenta consideravelmente. A temperaturas menores, não houve o processo completo de liga e a temperaturas maiores, a amostra começa a sofrer degradação possivelmente pela perda de As na superfície. A formação da liga se deve principalmente à penetração do Ge na amostra GaAs aumentando assim o número de portadores na superfície. O Ni previne que o Au se difunda na amostra.



**Figura 3:** Resistividade da amostra de n-GaAs como contatos de Au/GE/Ni/Au em função da temperatura do tratamento térmico em mistura verde por 20 s.

## II.2) Amostras tipo p:

(a) Com difusão de zinco

Temperatura(°C)	Resistividade( $\Omega\text{cm}^2$ )
350	$2.2 \times 10^{-5}$
380	$2.6 \times 10^{-5}$
400	$2.3 \times 10^{-5}$
430	$2.4 \times 10^{-5}$
450	$1.8 \times 10^{-5}$
480	$2.9 \times 10^{-5}$

Resistividade sem tratamento térmico:  $2.9 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$

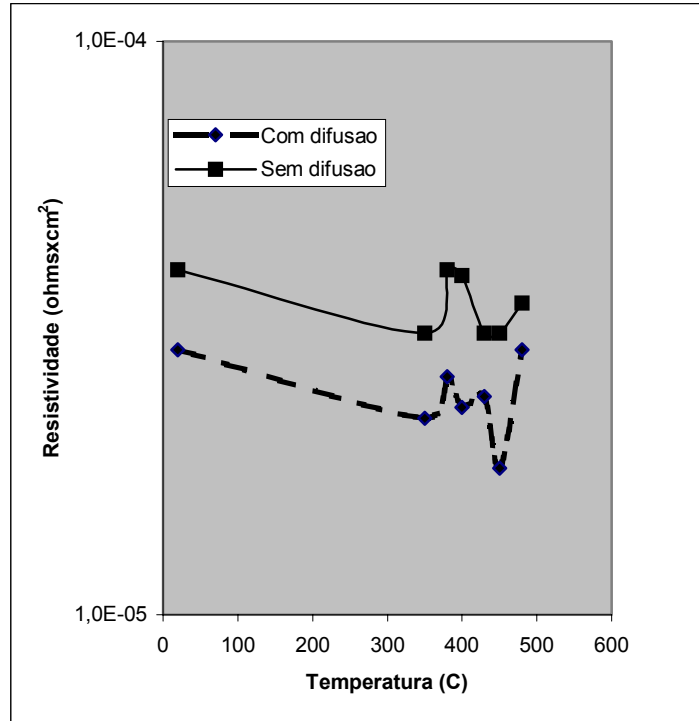
(b) sem difusão de zinco

Temperatura(°C)	Resistividade( $\Omega\text{cm}^2$ )
350	$3.1 \times 10^{-5}$
380	$4 \times 10^{-5}$
400	$3.9 \times 10^{-5}$
430	$3.1 \times 10^{-5}$
450	$3.1 \times 10^{-5}$
480	$3.5 \times 10^{-5}$

Resistividade sem tratamento térmico:  $4 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$

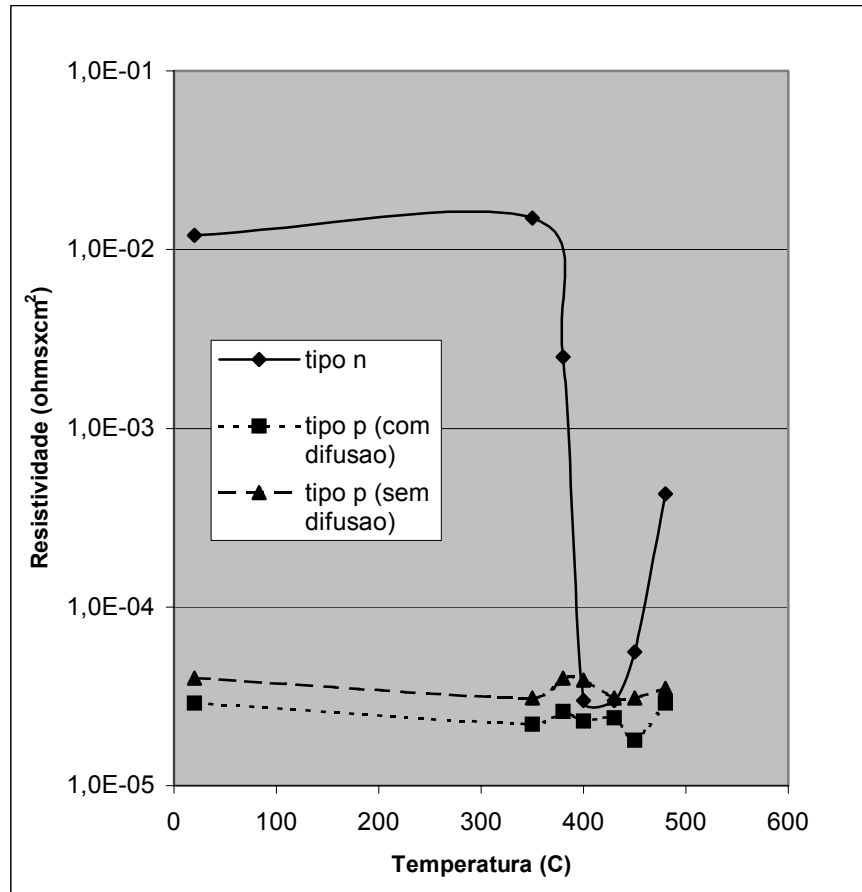
A figura 4 mostra a resistividade obtida para as amostras de p-GaAs com contatos de Ti/Pt/Au em função da temperatura do tratamento térmico em mistura verde por 20 s. Observamos que a resistividade de contato na amostra tipo p não tem uma grande variação com a temperatura. De fato, notamos que o tratamento térmico não necessariamente melhora o contato e pode estar resultando em danos. Dado que em geral os contatos ôhmicos p e n são feitos simultaneamente é importante otimizar os dois processos de tal forma que não deterioremos o tipo p mas realizemos a liga no tipo n. Neste caso, nos parece que o tratamento a 400 °C é um valor ótimo. Notamos também que foi possível obter uma menor resistividade de contato na amostra p com difusão pois o processo de difusão de Zn aumenta a densidade de portadores na região da superfície do contato (a densidade de portadores foi de  $10^{19}$  para  $10^{20}$ ) diminuindo com isso a espessura da barreira na junção para permitir a passagem de portadores por tunelamento como é típico em contatos Schottky<sup>3</sup>. Dado que a dopagem superficial pode influenciar fortemente o valor da resistividade de contato, é comum o procedimento de difusão para tornar o processo mais confiável.





**Figura 4:** Resistividade da amostra de p-GaAs como contatos de TI/Pt/Au em função da temperatura do tratamento térmico em mistura verde por 20 s. (a) linha tracejada: com difusão; (b) linha contínua: sem difusão.

A figura 5 abaixo mostra os resultados para as 3 amostras para melhor observarmos a diferença entre os processos. Essencialmente notamos que a 400 °C é possível obter-se contatos tanto tipo p como n de resistividade em torno de  $2 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ . Como exemplo da qualidade destes contatos consideremos um dispositivo muito importante, o laser de semiconductor. Um laser de semiconductor típico requer contatos tipo p com dimensões de  $3 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$ . O contato tipo n, em geral tem dimensões bem maiores, em torno de  $250 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$ . Portanto a contribuição dos contatos à resistência elétrica deste laser é em torno de  $R_p \sim (2 \times 10^{-5}) \Omega \text{cm}^2 / 3 \times 400 \times 1 \times 10^{-8} \text{cm}^2 \sim 1,6 \Omega$  para o contato p e  $R_n \sim (3 \times 10^{-5}) \Omega \text{cm}^2 / 250 \times 500 \times 1 \times 10^{-8} \text{cm}^2 \sim 0,02 \Omega$  para o contato n. Em geral, portanto é necessário grande trabalho de otimização do contato p, principalmente em lasers de alta potência.



**Figura 5:** Resistividade das amostra de GaAs, tipo n e p com e sem difusão de Zn em função da temperatura de tratamento térmico.

### (III) Conclusão

Realizamos o estudo de contatos ôhmicos em arseneto de gálio (GaAs), com dopagem tipos p e n.

Utilizamos Au/Ge/Ni/Au para o contato tipo n. Observamos que a resistividade de contato na amostra tipo n tem uma grande variação com a temperatura. A temperatura ótima de tratamento está em torno de 410 °C.

Utilizamos Ti/Pt/AU para o contato tipo p. A difusão de Zn foi utilizada para melhorar o contato. Notamos que o tratamento térmico não necessariamente melhora o

contato e pode estar resultando em danos. Notamos também que foi possível obter uma menor resistividade de contato na amostra p com difusão.

Obtivemos que o tratamento a 400 °C é um valor ótimo onde podemos obter resistividades menores que  $3 \times 10^{-5} \text{Wcm}^2$  para os contatos tipo p e n. Estes valores são bem razoáveis para a aplicação em dispositivos semicondutores.

## Referências

---

<sup>1</sup> E. Kuphal, Solid State Electronics, 24, pp69-78 (1981)

<sup>2</sup> V. L. Rideout, , 18, pp541-550 (1975)

<sup>3</sup> V. L. Rideout, Solid State Electronics, 18, pp541-550 (1975)