

Meten en berekenen van parameters bij het silox-diffusieproces

Citation for published version (APA):

Heijnen, C. J. H., & Roy, van, B. H. (1983). *Meten en berekenen van parameters bij het silox-diffusieproces*. (EUT report. E, Fac. of Electrical Engineering; Vol. 83-E-133). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1983

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



Eindhoven
University of Technology
the Netherlands

Department of
Electrical Engineering

Meten en berekenen van parameters
bij het silox-diffusieproces

Door

C.J.H. Heijnen

en

B.H. van Roy

EUT Report 83-E-133

ISBN 90-6144-133-1

ISSN 0167-9708

januari 1983

Eindhoven University of Technology Research Reports
EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Department of Electrical Engineering
Eindhoven The Netherlands

METEN EN BEREKENEN VAN PARAMETERS
BIJ HET SILOX-DIFFUSIEPROCES

door

C.J.H. Heijnen

en

B.H. van Roy

EUT Report 83-E-133

ISBN 90-6144-133-1

ISSN 0167-9708

Eindhoven
Januari 1983

CIP-gegevens

Heijnen, C.J.H.

Meten en berekenen van parameters bij het silox-diffusieproces /
door C.J.H. Heijnen en B.H. van Roy. -

Eindhoven: University of technology. - Fig. -

(Eindhoven university of technology research reports,

ISSN 0167-9708; 83-E-133)

Met lit. opg., reg.

ISBN 90-6144-133-1

SISO 664.3 UDC 621.382 UGI 650

Trefw.: halfgeleiders.

Summary

Diffusion process is an essential step in the fabrication of semiconductor devices. In order to perform this properly, according to certain specifications required for the device, it is important to know some parameters such as sheet resistance, diffusion depth, surface concentration and resistivity. These parameters depend on the background concentration, the impurity concentration in the oxide, the diffusion temperature and the diffusion time.

This report gives how these parameters can be determined before and after the diffusion process.

Heijnen, C.J.H. and B.H. van Roy
METEN EN BEREKENEN VAN PARAMETERS BIJ HET SILOX-DIFFUSIEPROCES
(Measurement and calculation of parameters at the silox-diffusion process). In Dutch.
Department of Electrical Engineering, Eindhoven University of Technology, 1983.
EUT Report 83-E-133

Address of the authors:

Electronic Components Group,
Department of Electrical Engineering,
Eindhoven University of Technology,
P.O. Box 513,
5600 MB EINDHOVEN,
The Netherlands

Inhoud

1. Inleiding	1
2. Silox-proces	2
3. Berekenen en meten	2
3.1 Berekenen	3
3.2 Meten	5
4. Samenvatting	8
Literatuur	9
Figuren 1 t/m 6	10 t/m 15

1. Inleiding

Bij de fabricage van halfgeleiderdevices is het diffusieproces een noodzakelijke onderdeel. Om dit correct te kunnen uitvoeren - het device zal aan vooraf gestelde eisen moeten voldoen - is het van belang dat men een aantal parameters kent, zoals de vierkantsweerstand, diffusiediepte, oppervlakteconcentratie en soortelijke weerstand. Deze grootheden zijn weer afhankelijk van de achtergrondconcentratie, de doopconcentratie in het oxyde, de diffusietemperatuur en diffusietijd. De methoden om deze parameters voor en na het diffusieproces te bepalen worden in dit verslag beschreven.

2. Silox-proces

Bij het diffusieproces in silicium maakt men in de vakgroep elektronische bouwstenen gebruik van gedoopt siliciumoxyde. Dit proces wordt het Silox-proces genoemd. (1) (2) (7)*

Door Barry en Olofsen is een groot aantal proeven gedaan waarbij zij tot de conclusie kwamen dat het dooprofiel, zoals dat bij dit diffusieproces ontstaat, nagenoeg overeenkomt met de kromme van de complementary error-function. (5)

Bij het silox-proces kan men ervan uitgaan dat de aanvoer van doopstof gebeurt vanuit een constante bron. Voor het vormen van siliciumoxyde (SiO_2) wordt silaan (SiH_4) en zuurstof (O_2) naar de reactor gevoerd. Indien dit oxyde tevens als doopstofbron voor de drive-in diffusie moet gaan fungeren wordt tijdens het groeiproces ook diboraan (B_2H_6) voor een P-doop of fosfine (PH_3) voor een N-doop naar de reactor geleid.

De diffusie vanuit het gedoopte SiO_2 vindt plaats in een diffusieoven onder invloed van een stikstofatmosfeer. Van grote invloed op deze drive-in diffusie zijn de diffusietemperatuur, de diffusietijd en de doopconcentratie in het oxyde.

De snelheid waarmee de drive-in diffusie verloopt wordt weergegeven door de diffusieconstante D. Deze is in principe alleen afhankelijk van de diffusietemperatuur, maar uit proeven is gebleken dat deze ook afhankelijk is van de doopconcentratie.

3. Berekenen en meten

Voordat men met de fabricage van een device begint is het noodzakelijk dat grootheden, zoals de achtergrondconcentratie, oppervlakteconcentratie, vierkantsweerstand, soortelijke weerstand of diffusiediepte, bekend zijn. (6)

Zijn twee of meer van deze grootheden bekend, dan kan men de procesparameters bepalen. De achtergrondconcentratie is over het algemeen gegeven. Bij dubbele diffusies is de berekening niet eenvoudig uit te voeren, omdat de achtergrondconcentratie niet constant is.

*) geraadpleegde literatuur, zie blz. 9

3.1. Berekenen

De volgende grootheden kan men berekenen:

- 1) soortelijke weerstand (ρ), voor homogene Si-plakken of Si-plakken met een homogene epi-laag
- 2) achtergrondconcentratie (N_o)
- 3) soortelijke weerstand (ρ), voor een gediffundeerde laag
- 4) diffusiediepte (x_j)
- 5) oppervlakteconcentratie (N_s)
- 6) diffusieconstante (D)
- 7) diffusietijd (t)

1) Soortelijke weerstand (ρ)

Deze kan men bepalen met de volgende formule:

$$\rho = R_s \cdot d$$

Hierin is R_s de vierkantsweerstand in Ω ,

d de dikte in cm van of de epi-laag of de Si-plak met een homogene verontreiniging en

ρ de soortelijke weerstand in Ωcm .

R_s en d zijn door meting te verkrijgen (R_s zie onder "Meten", blz. 7).

2) Achtergrondconcentratie (N_o)

Indien de achtergrondconcentratie, ook wel bulk- of substraatconcentratie genoemd, niet door de leverancier is opgegeven, kan gebruik gemaakt worden van de functie $\rho = f(N_o)$.

In Fig. 1 heeft Irvin deze functie voor zowel P- als N-type silicium weergegeven.

3) Soortelijke weerstand (ρ)

Deze kan bepaald worden met de volgende formule:

$$\rho = R_s \cdot x_j$$

Hierin is R_s de vierkantsweerstand van een gediffundeerde laag in Ω ,

x_j de diffusiediepte in cm. en

ρ de soortelijke weerstand in Ωcm .

Voor het bepalen van de waarde voor x_j , zie onder "Meten", blz.5.

4) Oppervlakteconcentratie (N_s)

Door Irvin (4) zijn grafieken berekend die het verband weergeven tussen het geleidingsvermogen $1/\rho$ (σ) en de oppervlakteconcentratie (N_s).

In Fig. 2 zijn de grafieken $N_s = f(1/\rho)$, bij verschillende achtergrondconcentraties, voor zowel met fosfor- als met boorgedoopte gediffundeerde lagen weergegeven.

Als de soortelijke weerstand van een gediffundeerde laag bekend is, dan kan de oppervlakteconcentratie dus direct uit deze grafieken worden afgelezen.

5,6,7) Diffusiediepte, -constante en -tijd

Deze grootheden kan men berekenen door gebruik te maken van de volgende uitdrukking:

$$N_o/N_s = \text{erfc} \frac{x_j}{2\sqrt{D \cdot t}}$$

Hierin is N_o de achtergrondconcentratie in atomen/cm³

N_s de oppervlakteconcentratie in atomen/cm³

x_j de diffusiediepte in μm ,

D de diffusieconstante in $\mu\text{m}^2/\text{uur}$ en

t de diffusietijd in uren.

Bestaat het proces uit meerdere diffusiestappen zowel in tijd als temperatuur dan wordt de uitdrukking als volgt:

$$N_o/N_s = \text{erfc} \frac{x_j}{2\sqrt{D_1 t_1 + D_2 t_2 + \dots}}$$

Hierbij is D_1 de diffusieconstante bij de temperatuur T_1 en D_2 bij T_2 enz. Deze formule is alleen geldig wanneer de diffusiebron constant is. Fig. 3 geeft deze genormeerde complementaire foutenverdelings functie.

De diffusieconstante als functie van de diffusietemperatuur wordt weergegeven in Fig. 4. Fig. 5 geeft het verloop van deze constante weer als de functie van de oppervlakteconcentratie, zowel voor boor als fosfor bij een diffusietemperatuur van 1100°C.

3.2. Meten

De volgende grootheden worden gemeten.

- 1) gasflow silox-reactor
- 2) diffusietemperatuur (T)
- 3) diffusietijd (t)
- 4) diffusiediepte (x_j)
- 5) vierkantsweerstand (R_s)

1) Gasflow silox-reactor

Bij het silox-proces worden de gasflows gemeten en geregeld met behulp van massaflow controllers van A.S.M., met een nauwkeurigheid van $\pm 1\%$. Na het diffusieproces is de oppervlakteconcentratie alleen afhankelijk van de concentratie in het oxyde en deze concentratie is afhankelijk van de gasflow. Fig. 6 geeft de oppervlakteconcentratie als functie van de gasflow in de silox-reactor weer voor zowel diboraan (B_2H_6) als fosfine (PH_3). De daarbij behorende andere gasflows zijn constant met een nauwkeurigheid van $\pm 1\%$.

2) Diffusietemperatuur (T)

Voor het diffusieproces wordt gebruik gemaakt van ovens welke regelbaar zijn tussen $400^\circ C$ en $1300^\circ C$.

De temperatuur moet instelbaar zijn met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5^\circ C$ i.v.m. de reproduceerbaarheid van het proces.

3) Diffusietijd (t)

De diffusieovens zijn uitgerust met een in- en uitrijmechanisme. De tijd wordt geregeld met een tijdrelais. De nauwkeurigheid is $< 1\%$ van de totaaltijd. Men kan het in- en uitrijmechanisme ook uitschakelen en de plakken met behulp van een kwartsstaaf in de oven schuiven. De tijd wordt nu bepaald met een tijd klok met een nauwkeurigheid van 1 sec.

4) Diffusiediepte (x_j)

Een techniek om de junctie-diepte van een gediffundeerde laag te bepalen berust op het feit dat bij etsen met een geschikt etsmiddel de overgang tussen een p-gebied en een n-gebied zichtbaar gemaakt kan worden. Om een redelijke nauwkeurigheid te bereiken moet de junctie onder een zeer kleine hoek geslepen worden.

Het siliciumplaatje waaraan geslepen moet worden wordt vastgeklemd aan een metalen frame. Vervolgens wordt een bol, met een glad oppervlak, die met een diamantpasta is ingesmeerd, tegen de siliciumplak geplaatst met toevoeging van enkele druppels propanol. Met behulp van een motortje M wordt de bol aan het draaien gebracht. De slijptijd is afhankelijk van de diffusiediepte. Er ontstaat een heel ondiepe ronde uitholling in het siliciumplaatje. De hier gebruikte methode staat bekend onder de naam bolslijpen. Met de volgende formule kan men de junctie-diepte bepalen:

$$\text{de junctie-diepte } x_j = \frac{a \cdot b}{D}$$

D = diameter bol.

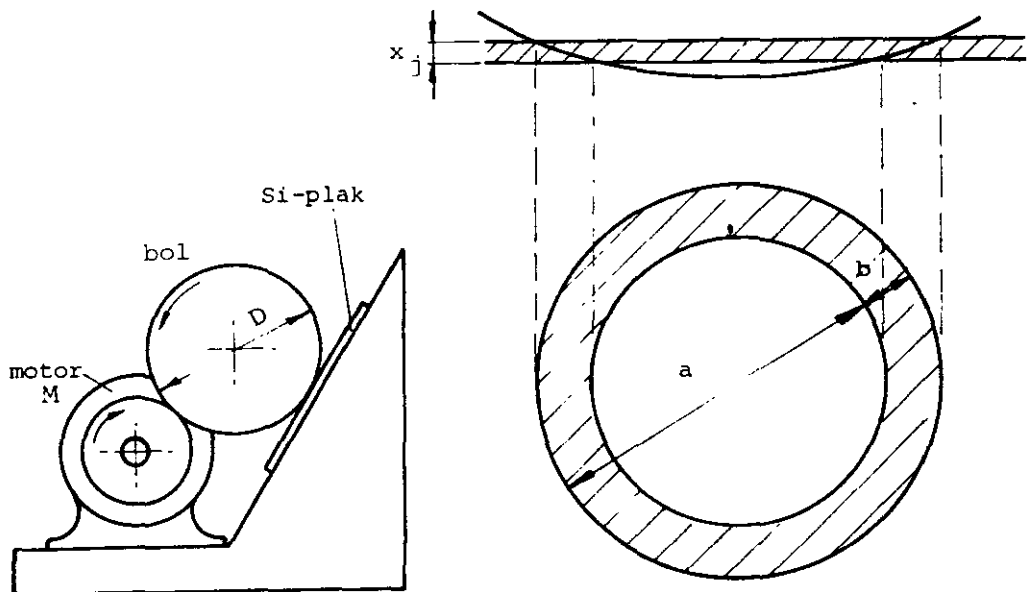


Fig. 7 Bolslijpen

Het patroon van de overgang kan men zichtbaar maken door middel van een druppel staining-ets, 99,8% HF en 0,2% HNO_3 , onder een sterke lichtbron, tijd ± 2 min., of door middel van een druppel verzadigde kopersulfaatoplossing en 0,2% HF, tijd 30 sec.

5) Vierkantsweerstand (R_s)

De vierkantsweerstand kan op twee manieren worden gemeten. De meest gebruikte methode is de vierpuntsmeting. Het principe is in Fig. 8 weergegeven. De vier meetpennen worden op de te meten laag gedrukt. Aan de buitenste meetpennen wordt een constante stroombron aangesloten. Er ontstaat dan een potentiaalverschil tussen de binnenste pen- nen tengevolge van de weerstand van de laag. De formule voor de vier- kantsweerstand R_s (sheet resistance) is :

$$R_s = 4,53 \frac{V}{I}$$

Stellen we de stroombron in op 4,53 mA dan is de aanwijzing van de hoogohmige millivoltmeter direct de waarde van R_s (in ohm). Voor deze meting is een bepaald oppervlak met homogene diffusie nood- zakelijk. Dit is minimaal 15 x 15 mm. De vierkantsweerstand mag niet te hoog zijn (max. 300 Ω), daar anders foutieve metingen ontstaan. Wan- neer een van beide factoren niet voldoet aan deze voorwaarde, dan kan de vierkantsweerstand worden gemeten met Van der Pauw-figuren (3). Met behulp van maskers wordt deze weerstand in de plak gediffundeerd (zie Fig. 9).

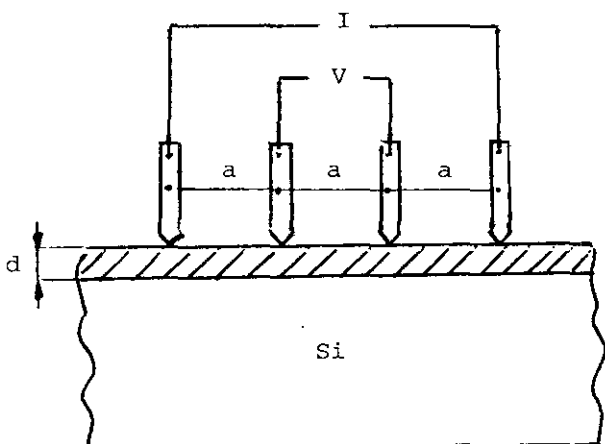


Fig. 8 Vierpuntsmeting

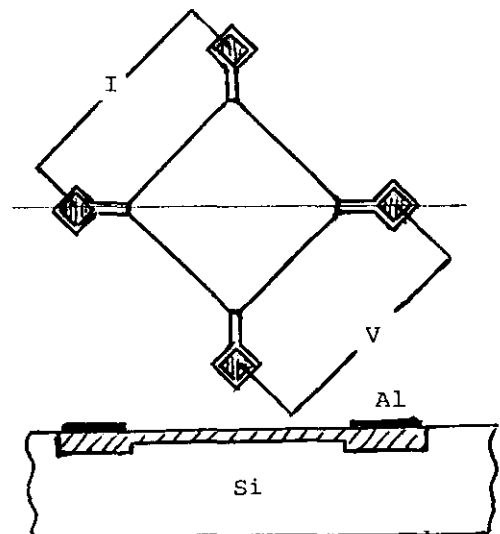


Fig. 9 Van der Pauw-figuur

De formule voor de weerstand R_s is

$$R_s = 4,53 \frac{V}{I}$$

Deze is gelijk aan de formule van de vierpuntsmetingen.

De oppervlakte kan klein zijn ($a = 100 \mu\text{m}$) en de weerstand mag hoog zijn tot een max. van $20 \text{ K}\Omega$. (Fig. 9)

4. Samenvatting

Met betrekkelijk eenvoudige hulpmiddelen zijn de verschillende parameters bij diffusieprocessen goed te bepalen. De bijgaande figuren vereenvoudigen daarbij de procedure in grote mate.

Hartelijk dank aan de heer Rooyackers voor zijn bijdrage in de vele proeven die genomen moesten worden.

Literatuur

- (1) Kern, W.
APPARATUS FOR CHEMICAL VAPOR DEPOSITION OF OXIDE AND GLASS FILMS.
RCA Rev., Vol. 29(1968), p. 525-532.
- (2) Fisher, A.W. et al.
DIFFUSION CHARACTERISTICS AND APPLICATIONS OF DOPED SILICON
DIOXIDE LAYERS DEPOSITED FROM SILANE (SiH₄).
RCA Rev., Vol. 29(1968), p. 533-548.
- (3) Pauw, L.J. van der
A METHOD OF MEASURING SPECIFIC RESISTIVITY AND HALL EFFECT
OF DISCS OF ARBITRARY SHAPE.
Philips Res. Rep., Vol. 13(1958), p. 1-9.
- (4) Irvin, J.C.
RESISTIVITY OF BULK SILICON AND OF DIFFUSED LAYERS IN SILICON.
Bell Syst. Tech. J., Vol. 41(1962), p. 387-410.
- (5) Barry, M.L. and P. Olofsen
DOPED OXIDES AS DIFFUSION SOURCES.
J. Electrochem. Soc., Vol. 116(1969), p. 854-860.
- (6) GEINTEGREERDE SCHAKELINGEN. Redactie: R.M. Warner, Jr. en
J.N. Fordemwalt.
Utrecht: Het Spectrum, 1968.
Prisma-Technica, Band 24.

Vertaling van:

INTEGRATED CIRCUITS: Design principles and fabrication.
Ed. by R.M. Warner, Jr. and J.N. Fordemwalt.
New York: McGraw-Hill, 1965.
Motorola series in solid-state electronics
- (7) Mitra, N.K. and C.J.H. Heynen
APPARATUS FOR CHEMICAL VAPOR DEPOSITION OF SILICON DIOXIDE
FROM SILANE GAS.
Rev. Sci. Instrum., Vol. 47(1976), p. 757-761.

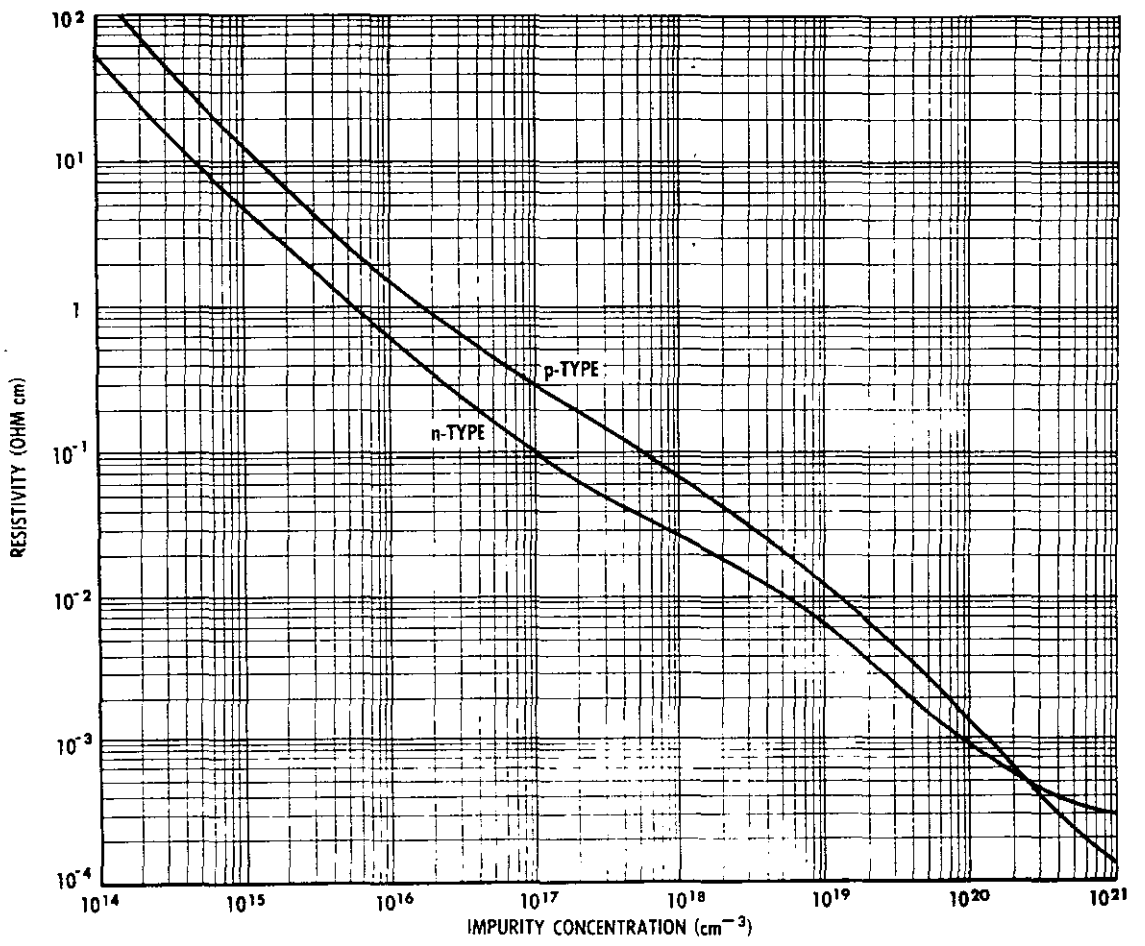


Fig. 1 Silicon resistivity at 300°K as a function of impurity concentration. (After Irvin.⁴)

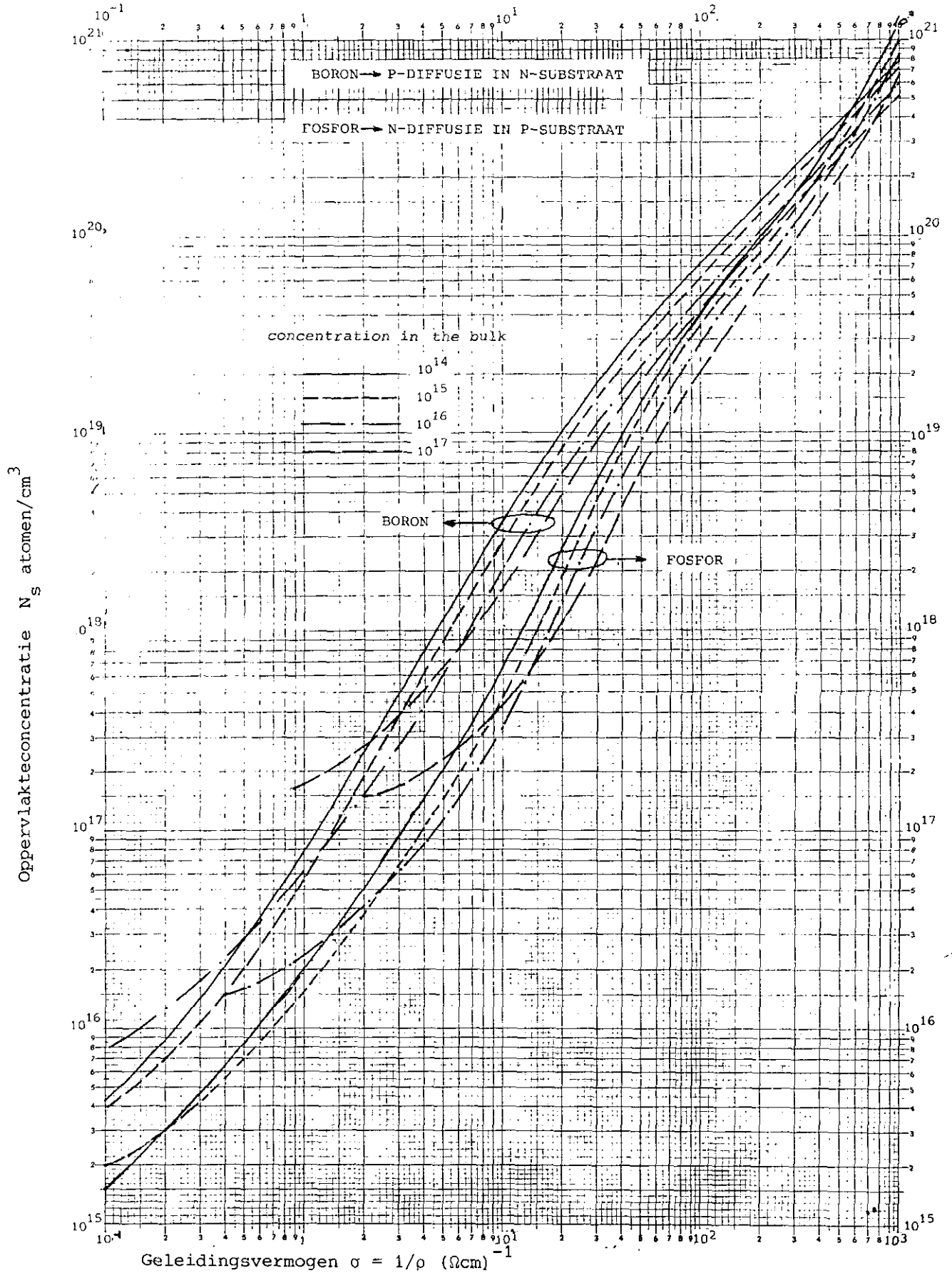


Fig. 2 Oppervlakteconcentratie als functie van het geleidingsvermogen

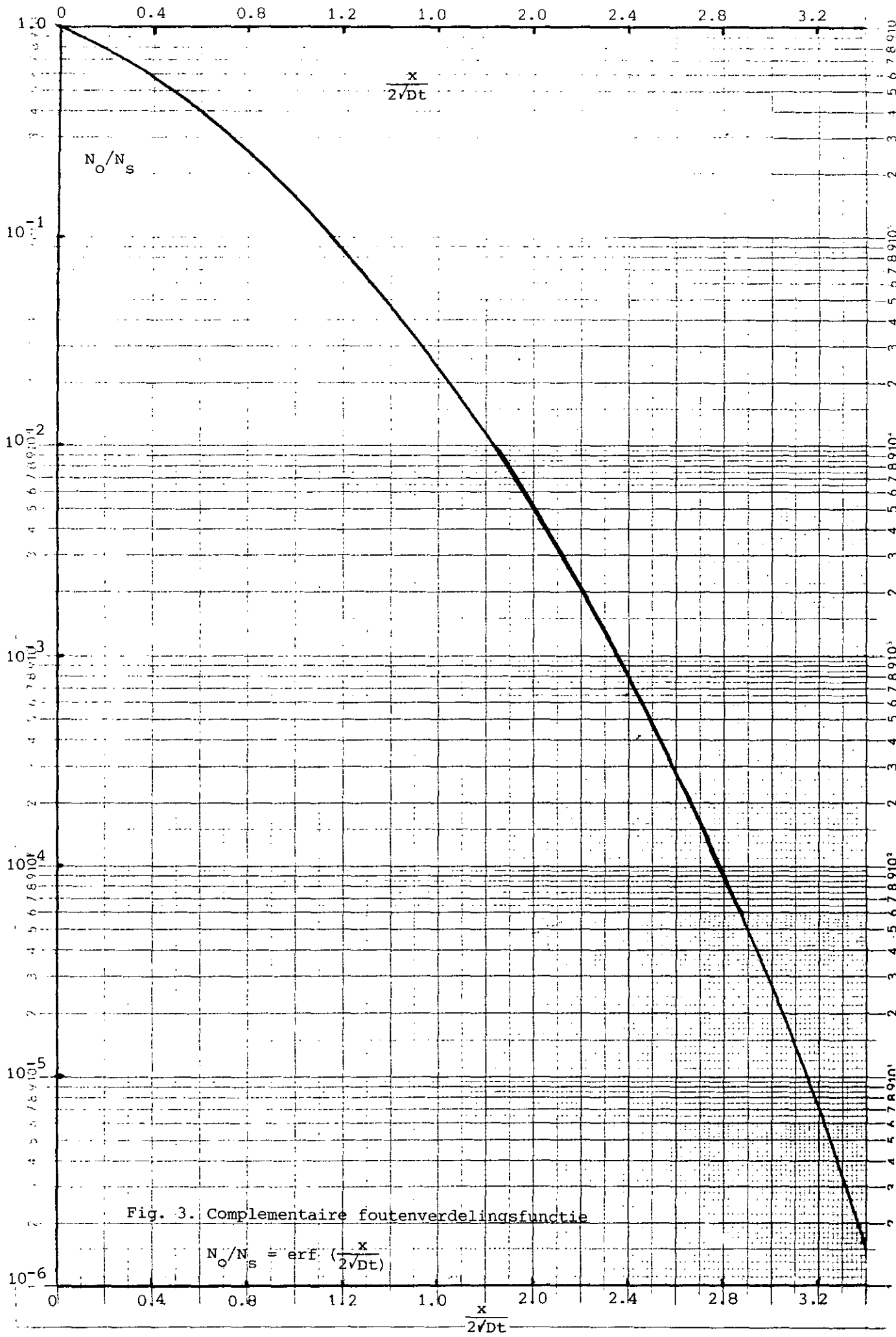
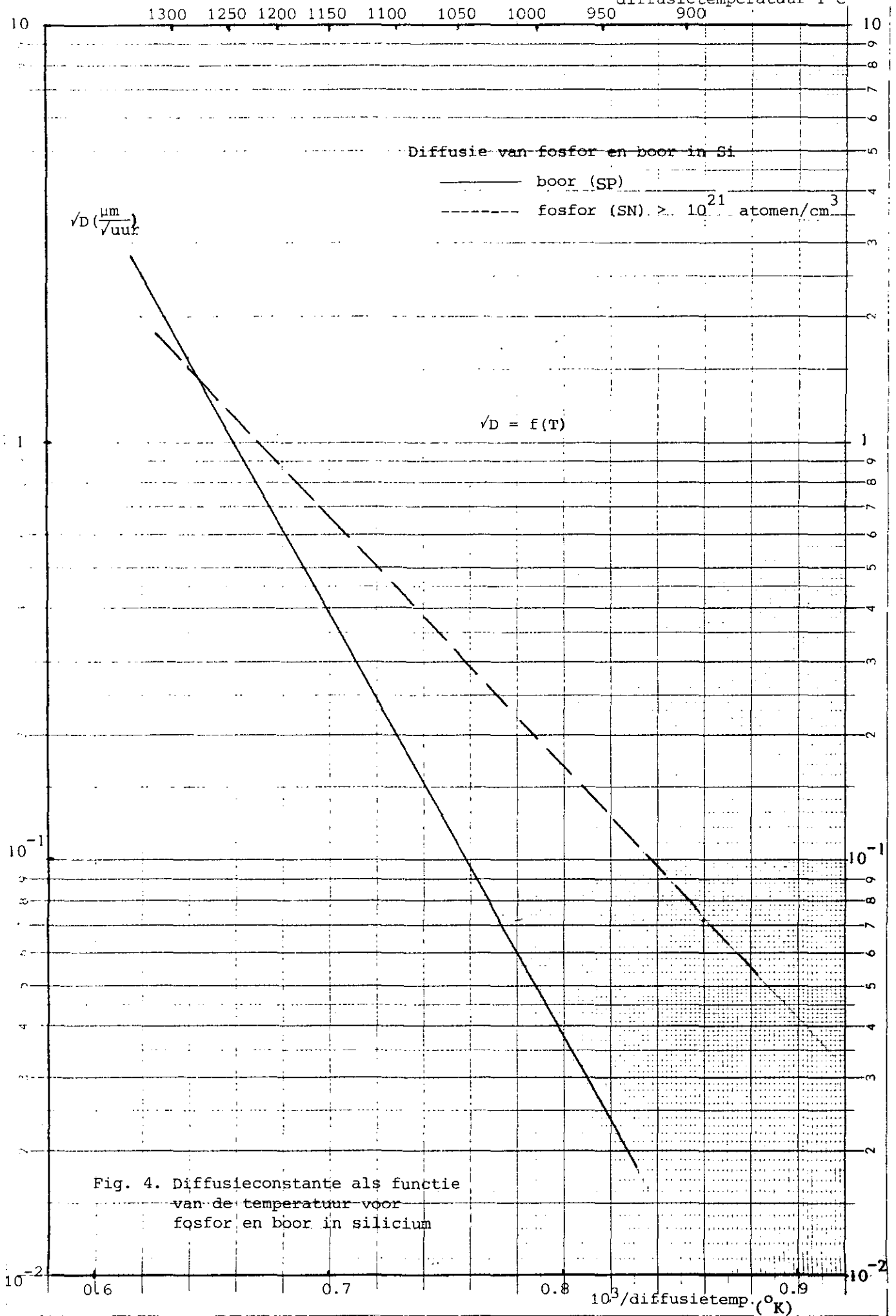


Fig. 3. Complementaire foutenverdelingsfunctie

$$N_o/N_s = \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right)$$



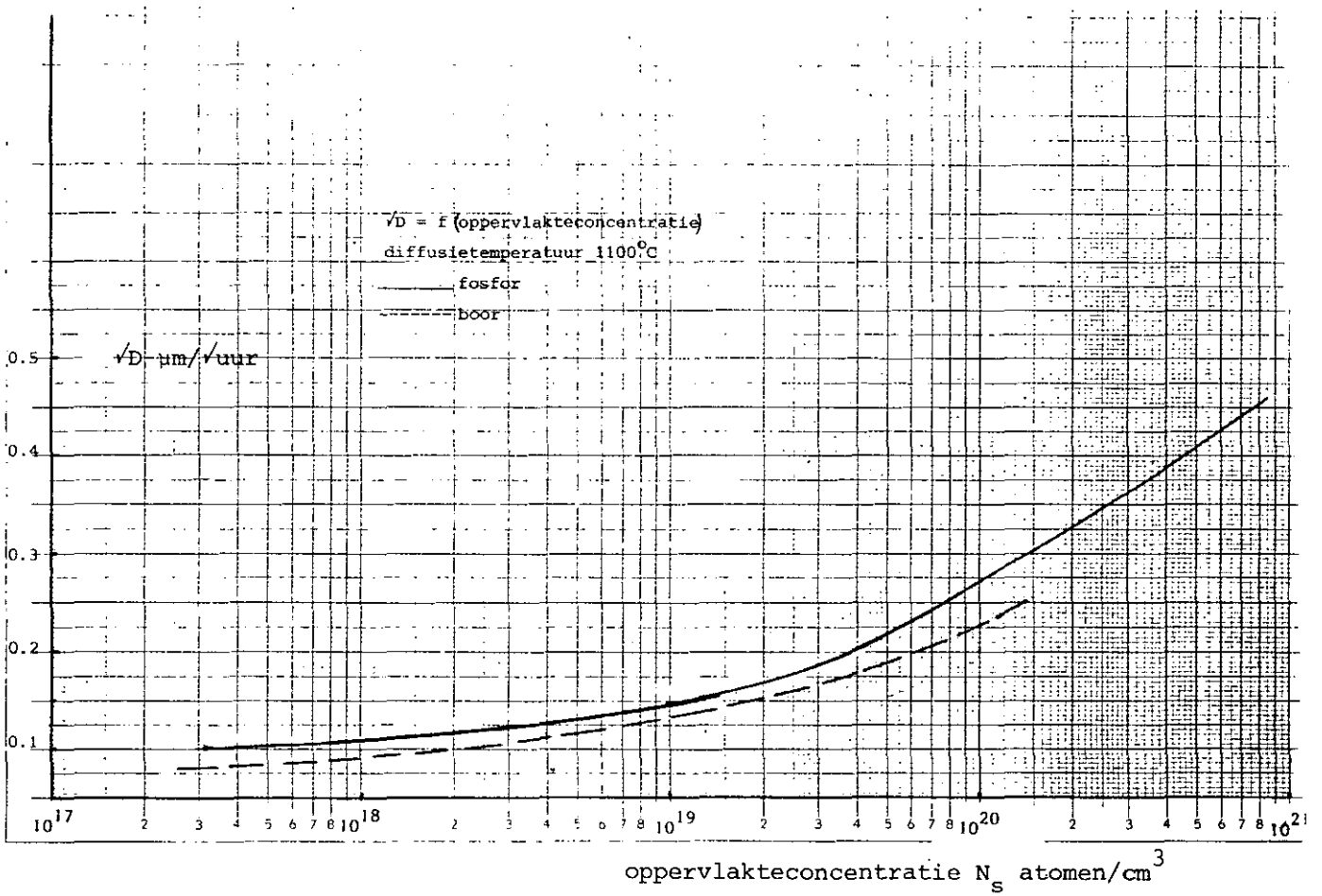


Fig. 5. Diffusieconstante als functie van de oppervlakteconcentratie voor fosfor en boor in silicium

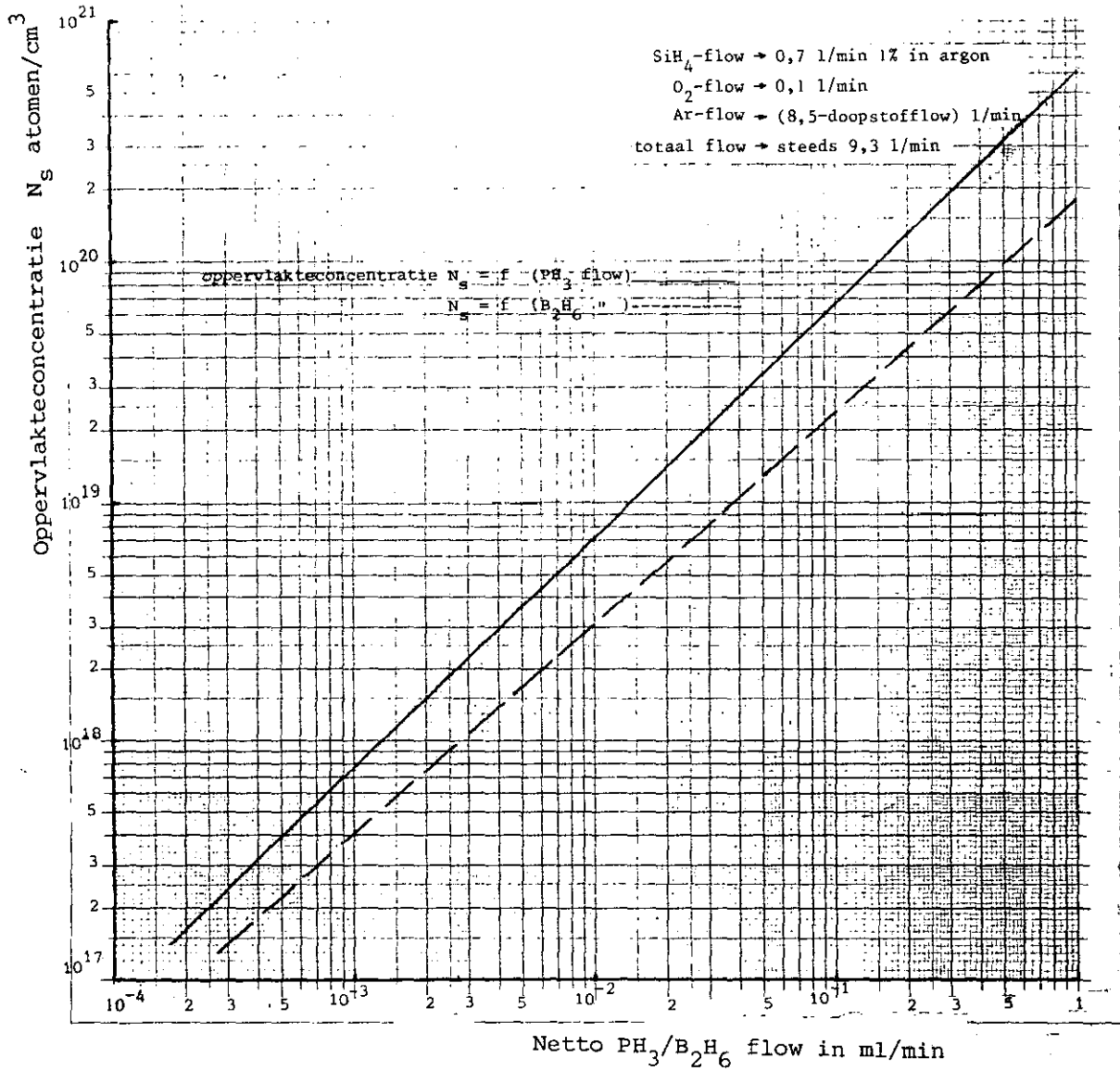


Fig.6. Oppervlakteconcentratie als functie van de gasflow in de silox-reactor.

Reports: EUT Reports are a continuation of TH-Reports.

- 116) Versnel, W.
THE CIRCULAR HALL PLATE: Approximation of the geometrical correction factor for small contacts.
TH-Report 81-E-116. 1981. ISBN 90-6144-116-1
- 117) Fabian, K.
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CENTRAL INSTRUCTION PROCESSOR WITH A MULTIMASTER BUS INTERFACE.
TH-Report 81-E-117. 1981. ISBN 90-6144-117-X
- 118) Wang Yen Ping
ENCODING MOVING PICTURE BY USING ADAPTIVE STRAIGHT LINE APPROXIMATION.
EUT Report 81-E-118. 1981. ISBN 90-6144-118-8
- 119) Heijnen, C.J.H., H.A. Jansen, J.F.G.J. Olijslagers and W. Versnel
FABRICATION OF PLANAR SEMICONDUCTOR DIODES, AN EDUCATIONAL LABORATORY EXPERIMENT.
EUT Report 81-E-119. 1981. ISBN 90-6144-119-6.
- 120) Piecha, J.
DESCRIPTION AND IMPLEMENTATION OF A SINGLE BOARD COMPUTER FOR INDUSTRIAL CONTROL.
EUT Report 81-E-120. 1981. ISBN 90-6144-120-X
- 121) Plasman, J.L.C. and C.M.M. Timmers
DIRECT MEASUREMENT OF BLOOD PRESSURE BY LIQUID-FILLED CATHETER MANOMETER SYSTEMS.
EUT Report 81-E-121. 1981. ISBN 90-6144-121-8
- 122) Ponomarenko, M.F.
INFORMATION THEORY AND IDENTIFICATION.
EUT Report 81-E-122. 1981. ISBN 90-6144-122-6
- 123) Ponomarenko, M.F.
INFORMATION MEASURES AND THEIR APPLICATIONS TO IDENTIFICATION (a bibliography).
EUT Report 81-E-123. 1981. ISBN 90-6144-123-4
- 124) Borghì, C.A., A. Veefkind and J.M. Wetzer
EFFECT OF RADIATION AND NON-MAXWELLIAN ELECTRON DISTRIBUTION ON RELAXATION PROCESSES IN AN ATMOSPHERIC CESIUM SEEDED ARGON PLASMA.
EUT Report 82-E-124. 1982. ISBN 90-6144-124-2
- 125) Saranummi, N.
DETECTION OF TRENDS IN LONG TERM RECORDINGS OF CARDIOVASCULAR SIGNALS.
EUT Report 82-E-125. 1982. ISBN 90-6144-125-0
- 126) Królikowski, A.
MODEL STRUCTURE SELECTION IN LINEAR SYSTEM IDENTIFICATION: Survey of methods with emphasis on the information theory approach.
EUT Report 82-E-126. 1982. ISBN 90-6144-126-9

Eindhoven University of Technology Research Reports (ISSN 0167-9708)

- (127) Damen, A.A.H., P.M.J. Van den Hof and A.K. Hajdasziński
THE PAGE MATRIX: An excellent tool for noise filtering of Markov parameters, order testing and realization.
EUT Report 82-E-127. 1982. ISBN 90-6144-127-7
- (128) Nicola, V.F.
MARKOVIAN MODELS OF A TRANSACTIONAL SYSTEM SUPPORTED BY CHECKPOINTING AND RECOVERY STRATEGIES. Part 1: A model with state-dependent parameters.
EUT Report 82-E-128. 1982. ISBN 90-6144-128-5
- (129) Nicola, V.F.
MARKOVIAN MODELS OF A TRANSACTIONAL SYSTEM SUPPORTED BY CHECKPOINTING AND RECOVERY STRATEGIES. Part 2: A model with a specified number of completed transactions between checkpoints.
EUT Report 82-E-129. 1982. ISBN 90-6144-129-3
- (130) Lemmens, W.J.M.
THE PAP PREPROCESSOR: A precompiler for a language for concurrent processing on a multiprocessor system.
EUT Report 82-E-130. 1982. ISBN 90-6144-130-7
- (131) Eijnden, P.M.C.M. van den, H.M.J.M. Dortmans, J.P. Kemper and M.P.J. Stevens
JOBHANDLING IN A NETWORK OF DISTRIBUTED PROCESSORS.
EUT Report 82-E-131. 1982. ISBN 90-6144-131-5
- (132) Verlijdsdonk, A.P.
ON THE APPLICATION OF BIPHASE CODING IN DATA COMMUNICATION SYSTEMS.
EUT Report 82-E-132. 1982. ISBN 90-6144-132-3
- (133) Heijnen, C.J.H. en B.H. van Roy
METEN EN BEREKENEN VAN PARAMETERS BIJ HET SILOX-DIFFUSIEPROCES.
EUT Report 83-E-133. 1983. ISBN 90-6144-133-1
- (134) Roer, Th.G. van de and S.C. van Someren Gréve
A METHOD FOR SOLVING BOLTZMANN'S EQUATION IN SEMICONDUCTORS BY EXPANSION IN LEGENDRE POLYNOMIALS.
EUT Report 83-E-134. 1983. ISBN 90-6144-134-X