

STRUKTURUNTERSUCHUNGEN AN Ta_2O_5 - SCHICHTEN

DP E. Hänel , TH Karl-Marx-Stadt

DP H. Cebulla , ZfTM Dresden , TME Karl-Marx-Stadt

Doz. Dr . sc. H.-D. Langer

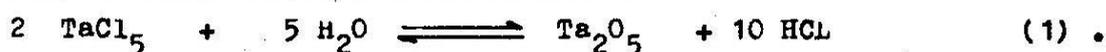
Tantalpentoxid eignet sich unter anderem als Isolatormaterial für die Realisierung mikroelektronischer Kondensatorstrukturen .

Anodische und thermische Oxydation sind dabei die gebräuchlichsten Herstellungsmethoden. Bisher in nur sehr geringem Maße untersucht ist das CVD-Verfahren für die Abscheidung derartiger Isolatorschichten /1/.

Der vorliegende Beitrag stellt Ergebnisse der Strukturuntersuchungen an CVD - Ta_2O_5 - Schichten vor , welche in Abhängigkeit von den jeweiligen Abscheidungstemperaturen und vom Beladungsverhältnis gewonnen wurden.

1. Schichtabscheidung

Die zur Ta_2O_5 - Abscheidung genutzte Hochtemperatur - CVD - Normaldruckanlage verfügt über einen induktiv beheizten und an der Ummantelung wassergekühlten Horizontalreaktor , in welchem ein Graphitausträger als Substratträger dient . Mittels einer temperierbaren Feststoffquelle (Abb. 1) und über einen mit dem Tantalchlorid entsprechend der Quelltemperatur beladenen Wasserstoffnebenstrom wird das Metallchlorid in den Reaktor eingeleitet . Für die durch Gasphasenhydrolyse erzeugten Schichten läuft in der Reaktionszone unter Beteiligung von Wasser bei den gewählten Temperaturen folgende Bruttoreaktion ab :



Damit diese Reaktion erst in unmittelbarer Substratnähe stattfindet , darf das zur Hydrolyse benötigte Wasser erst in der Reaktionszone entsprechend Gleichung (2)



freigesetzt werden . Erst bei Temperaturen oberhalb 1100 K verläuft diese Reaktion deutlich verschoben zu Gunsten der Reaktionsprodukte CO und H_2O ab. Daher liegen die gewählten Abscheidungstemperaturen oberhalb 1100 K und variieren von 1250 K bis 1370 K. Um ein Kondensieren des $TaCl_5$ in den Zuleitungen zum Reaktor zu vermeiden, muß dieses Rohrsystem beheizt werden (vgl. Abb.2) . Die eingestellten Temperaturen waren ca. 50 K bis 100 K höher als die Quelltemperaturen (391 K - 424 K) .

Eine Übersicht über die realisierten Prozeßparameter gibt Tabelle 1 wieder .

Bezeichnung	Durchflußmenge l/min	molprozent %	Dampfdruck des TaCl ₅ , Pa
H ₂ -Haupt - strom	50		
H ₂ -Neben- strom	1,43		
CO ₂	0,28	$5,3 \times 10^{-1}$	
TaCl ₅	0,0013	$2,5 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^2$
	0,0020	$3,7 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^2$
	0,0062	$1,1 \times 10^{-2}$	$6,7 \times 10^2$
	0,0121	$2,3 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^3$

- Tabelle 1 : Abscheidungsparameter

2. Struktureigenschaften in Abhängigkeit von den Prozeßparametern

2.1. Einfluß des TaCl₅ - Dampfdruckes

Mit Hilfe der Transmissionselektronenmikroskopie (Elektronenbeugung, U_B = 100 kV) konnten von den hergestellten CVD-Ta₂O₅ - Schichten Beugungs- und Hellfeldaufnahmen angefertigt werden (Abb. 3 und 4).

Die Tantaloxidschichten wurden bei T_{ab} = 1250 K und bei Tantal - chloriddampfdrucken von $1,3 \times 10^2$ bis $1,3 \times 10^3$ Pa abgeschieden (siehe Tabelle 1). Die erzielten Schichtdicken lagen bei (100 ± 15) nm . Für alle untersuchten Proben konnte eine polykristalline Struktur nachgewiesen werden , wobei die registrierten Reflexe eindeutig der β - Ta₂O₅ - modifikation zuzuordnen sind . Außerdem zeigen die erstellten Beugungsaufnahmen zusätzliche Reflexe geringer Intensität , welche der α - Ta₂O₅ - Phase zugeordnet werden können (/2/ , vgl. Abb. 3). Damit liegen die abgeschiedenen Isolatorschichten als Gemisch der β - und- α - Phase vor .

Der Chloriddampfdruck besitzt somit im hier untersuchten Bereich keinen Einfluß auf die qualitative Zusammensetzung der Tantaloxid - schichten , wirkt sich jedoch möglicherweise auf das quantitative Verhältnis der beiden Phasen aus . Dieses Verhältnis ist allerdings mit dem vorgestellten Verfahren nicht bestimmbar . Deutlich ausgeprägt ist demgegenüber der Einfluß des Chloriddampfdruckes auf die Kristallit -

größe .

Tabelle 2 veranschaulicht die aus Abb.4 ermittelten Größen d_k .

Dampfdruck P_{TaCl_5} / Pa	Kristallitgröße d_k / nm
$1,3 \times 10^2$	70 ... 75
$2,0 \times 10^2$	60 ... 80
$6,7 \times 10^2$	50 ... 75
$1,3 \times 10^3$	30 ... 50

Tabelle 2

Kristallitgröße bei $T_{ab} = 1250 K$

Wie aus Tabelle 2 zu entnehmen ist , bewirkt eine Erhöhung des Dampfdruckes ein Abnehmen der Kristallitgröße in den Oxidschichten . Eine Textur wurde nicht festgestellt . Abb. 5 veranschaulicht die bei einer höheren Vergrößerung deutlich erkennbare innere Streifung der Kristallite , deren Entstehung noch ungeklärt ist .

2.2. Einfluss der Abscheidungstemperatur

Für die Schichtabscheidung wurden Temperaturen zwischen 1250 K und 1370 K ausgewählt , wobei der Tantalchloriddampfdruck bei $P_{TaCl_5} = 1,3 \times 10^2 Pa$ konstant gehalten wurde .

Anhand der Beugungsaufnahmen wurde in allen Proben ein Oxidgemisch , bestehend aus $\beta - Ta_2O_5$ und $\alpha - Ta_2O_5$ nachgewiesen . Die Abscheidungstemperatur beeinflusst damit im betrachteten Gebiet die auftretenden Oxidmodifikationen nicht (vgl. Abb. 6) . Dagegen zeigen die für die Kristallitgröße bestimmten Werte d_k die in Tabelle 3 wiedergegebene Abhängigkeit .

Abscheidungstemperatur T_{ab} / K	Kristallitgröße d_k / nm
1250	70 ... 75
1270	70 ... 75
1320	25 ... 50
1370	25 ... 40

Tabelle 3

Kristallitgröße bei
 $P_{TaCl_5} = 1,3 \times 10^2 Pa$

Mit wachsender Abscheidungstemperatur sinkt die ermittelte Kristallitgröße (vgl. Hellfeldaufnahme Abb. 6) . Bei allen Proben konnte die bereits im Punkt 2.1. dargestellte innere Streifung der Kristallite nachgewiesen werden .

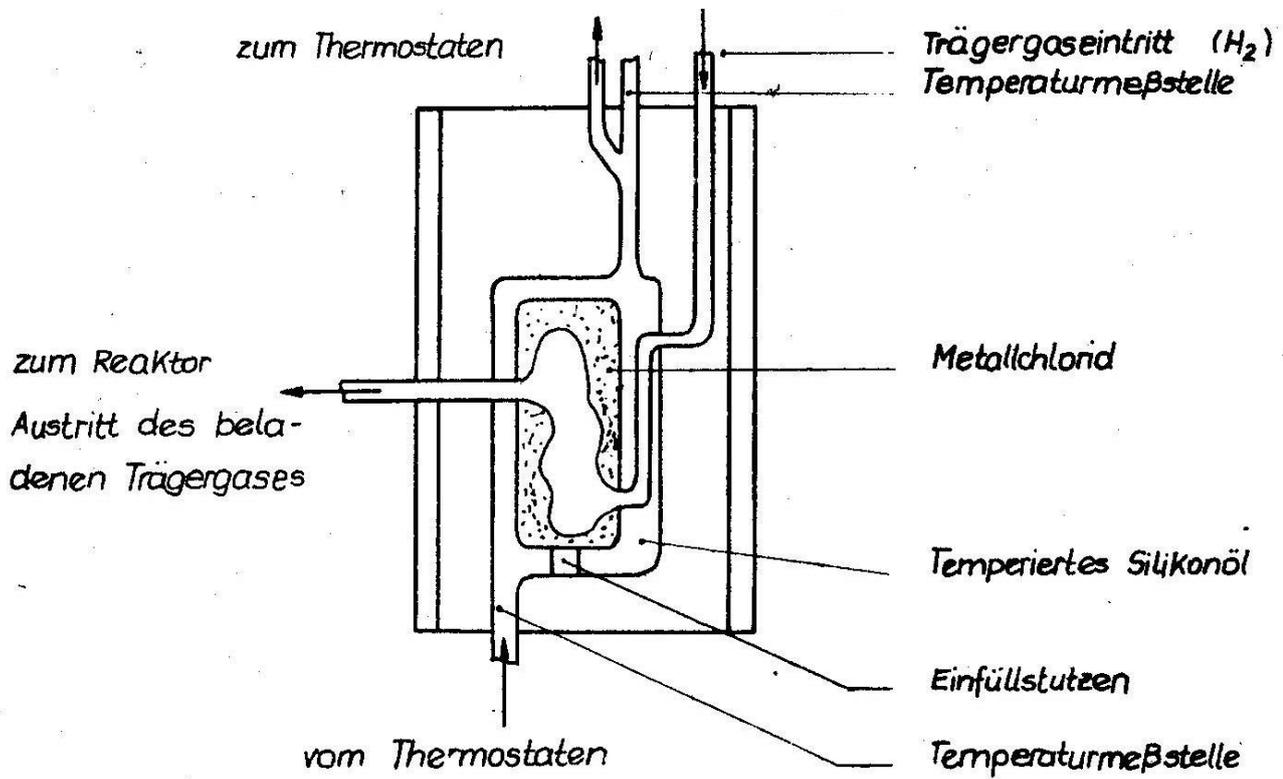


Abb. 1 Feststoffquelle

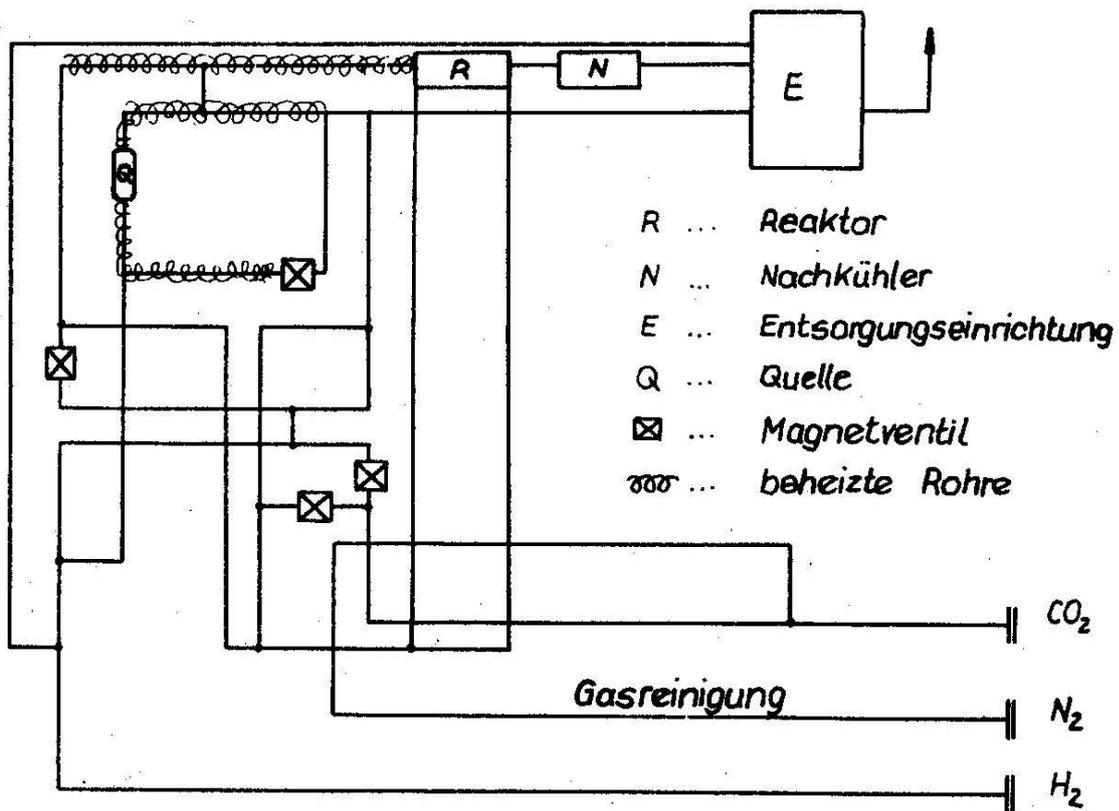


Abb. 2 Gasflußplan der CVD - Anlage

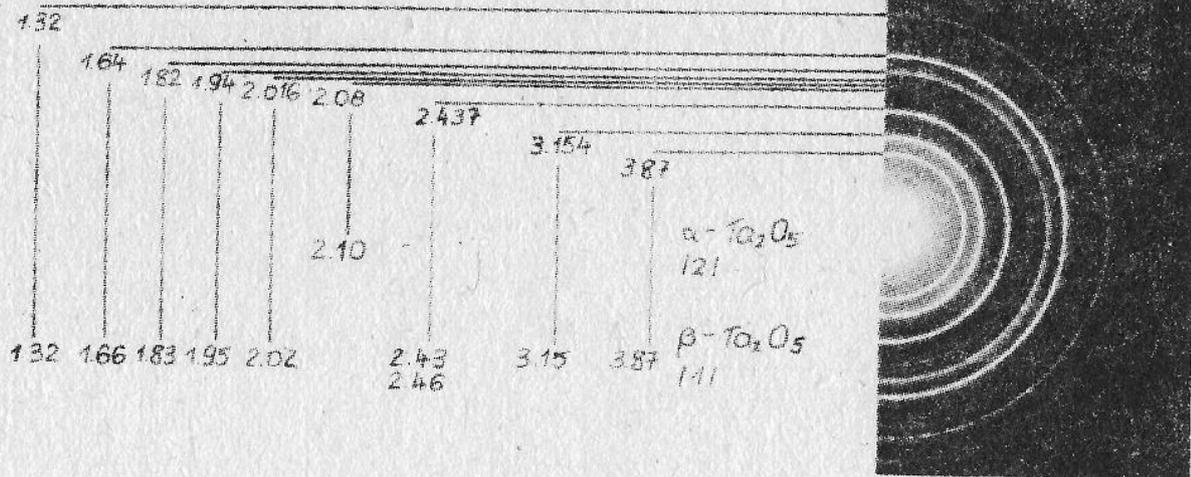
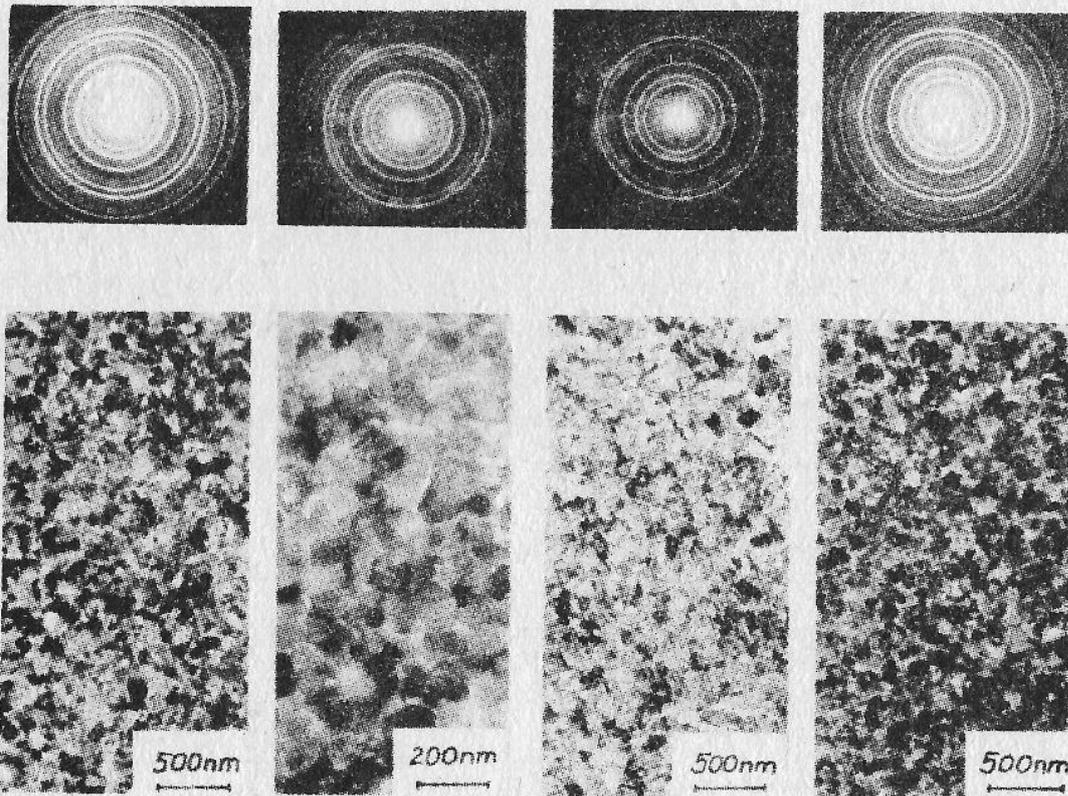


Abb. 3 Elektronenbeugungsdiagramm (indiziert) einer Ta_2O_5 -Schicht, die mit folgenden Parametern hergestellt wurde :

$T_{ab} = 1250 \text{ K}$, $P_{TaCl_5} = 1,3 \times 10^2 \text{ Pa}$



$P_{TaCl_5} = 1,3 \times 10^2 \text{ Pa}$ $2,0 \times 10 \text{ Pa}$ $6,7 \times 10^2 \text{ Pa}$ $1,3 \times 10^3 \text{ Pa}$

Abb. 4 Hellfeldaufnahmen von Ta_2O_5 -Schichten, die bei veränderlichem P_{TaCl_5} und konstanter $T_{ab} = 1250 \text{ K}$ abgeschieden wurden

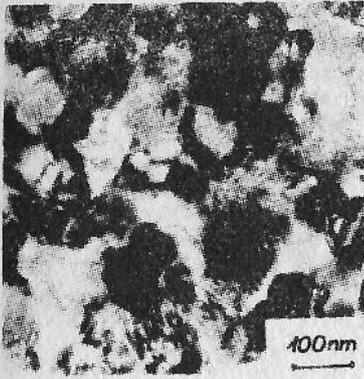
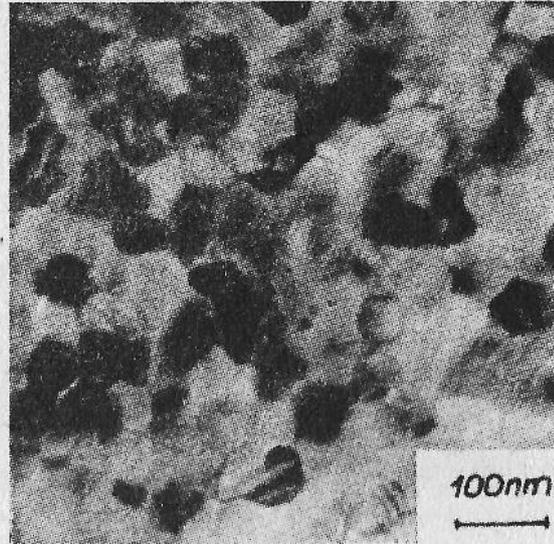
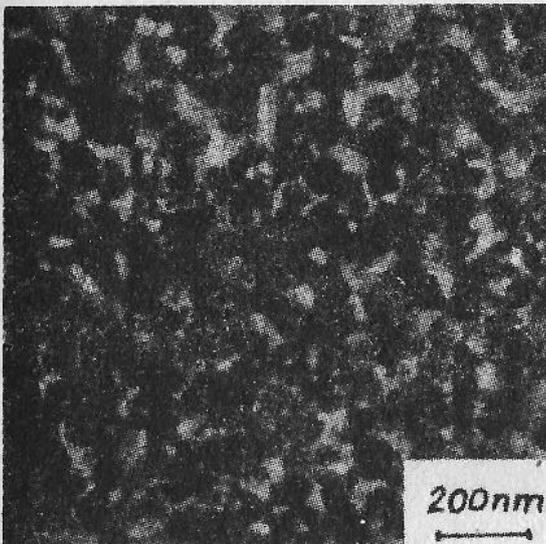
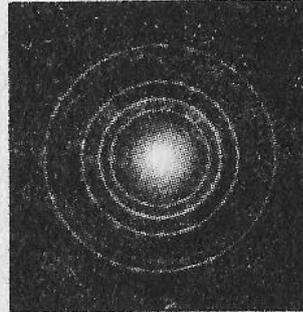
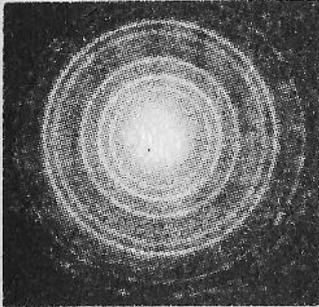


Abb. 5 Hellfeldaufnahme einer Ta_2O_5 -
Schicht bei $T_{ab} = 1250$ K und
 $p_{TaCl_5} = 1,3 \times 10^2$ Pa



$T_{ab} = 1320$ K

$T_{ab} = 1270$ K

Abb. 6 Hellfeldaufnahmen an Ta_2O_5 - Schichten , die bei $p_{TaCl_5} =$
 $1,3 \times 10^2$ Pa (konstant) und veränderlicher T_{ab} abgeschieden wurden

Literatur

- /1/ W.H. Knausenberger , R.N. Tauber
Journal of the Electrochemical Society , Vol. 120, No. 1 (1973)
921 ff .
- /2/ H.-D. Langer, H. G. Schneider
Kristall und Technik , 7 , 5 (1972) 561 ff