

Struktur und elektrische Eigenschaften von Ventilmetallschichten für Dünnschichtkondensatoren

bisher unveröffentlicht

H.-D. Langer, TU Karl-Marx-Stadt

U. Bröhl, M. Podlesak, VEB Werk für Fernsehetelektronik Berlin

J. Adamczewska, Institut für Elektrotechnologie Warschau

Wichtige Anforderungen an Grundelektroden für Dünnschichtkondensatoren mit anodischem Oxiddielektrikum lauten wie folgt:

- Realisierbarkeit integrierter RC-Netzwerke mit einem Minimum an fotolithographischen Zyklen im Herstellungsprozess,
- Einsatz ausreichend verfügbarer anodisch oxydierbarer Metalle (Ventilmetalle) als Basiswerkstoff, die mit guter Reproduzierbarkeit mittels PVD abgeschieden werden können und mit dem Substrat gut verträglich sind,
- niedriger Serienwiderstand und geringe Elektromigration bei Leitbahnen, Kontakten und Elektroden,
- gute Einstellbarkeit des Flächenwiderstandes (schichtdickenunabhängiger spezifischer Widerstand) und niedriger Temperaturkoeffizient (TKR) bei Widerständen,
- hohe Kapazitätsdichte bzw. Isolationsfestigkeit (große Dielektrizitätskonstante ϵ bzw. geringe Restströme I_R des Oxiddielektrikums) bei Kondensatoren.

Daraus folgt ein Entwicklungstrend in Richtung der Eigenschaftskombination durch Einsatz von Kompositstrukturen (z. B. Stapelstrukturen, Legierungs- bzw. Gemischsysteme). Mittels PVD werden einkomponentige Systeme vom Multiphasentyp (Einbeziehung metastabiler Phasen, z. B. β -Ta, neben den Gleichgewichtsphasen α -Ta oder Ta_2N) sowie binäre (z. B. Ta-Al-Legierungen, Al/Ta-Stapelstrukturen) und ternäre Systeme (z. B. Ta-Oxinitrid) für verschiedene Anwendungsfälle realisiert [1]-[7].

Wie Bild 1 anhand eigener Untersuchungen zeigt, kann man schon mit wenigen Ventilmetallkomponenten und Abscheidungsverfahren einen weiten φ -Bereich überstreichen. Technologisch interessant sind für den RC-Applikationsfall niedrige φ mit einem ausge-

prägten Plateau, das sich bereits bei einer möglichst kleinen Schichtdicke d ausbildet. (Die Meßwertstreuung folgt aus technologischen und Meßunsicherheiten.) Mit nur 3 lithografischen Schritten bei der Herstellung stabiler RC-Netzwerke kommt die Ta-Al-Technologie aus /3/. Die entsprechenden ρ - und TKR-Werte in einem weiten Bereich der Atomkonzentration c mit Phasenzuordnung sind in den Bildern 2a und b festgehalten. Eine bessere Verträglichkeit mit Si-Substraten und eine Öffnung in Richtung Silicid-Technologie verspricht das Ta-Si-System. Entsprechende eigene Untersuchungsergebnisse zu ρ , TKR und Struktur sind ergänzend zu /4/ farblich in Bild 2 eingetragen. Auffällig ist der breite α -Bereich im Zustandsdiagramm (gilt z. B. auch für Ta-Re /2/).

Der Zusammenhang Struktur/elektrische Eigenschaften hat fundamentale Bedeutung, wie man anhand des Entwicklungstrends der klassischen Ta-Technologie ersieht, die auf Mono- bzw. Multisystemen vom Typ Gleichgewichts-, metastabile bzw. oxinitridische Phase beruht.

Sehr stabile RC-Netzwerke dieser Technologie werden mit (10 ± 5) At% N und (30 ± 10) At% O im Tantal in Verbindung mit einer Wärmebehandlung (≤ 300 °C, 2 h) erzielt /4/, /5/. Andere Varianten gehen z. B. von α -Ta, β -Ta bzw. Ta-Nitriden aus.

Die ρ - und TKR-Charakteristiken, wie sie nach /6/ dargestellt sind, wurden in der Literatur im wesentlichen bestätigt. Eigene Erfahrungen wurden im punktiert eingetragenen Arbeitsbereich gesammelt (Bild 1).

Auffällig ist die ausgeprägte Textur des β -Ta auf beliebigen Substratkonfigurationen z. B. /1/.

Im Hinblick auf Ta-Substitution, hohe Leitfähigkeit (Al), geringe Elektromigration (Ti in Al), große Dielektrizitätskonstante ϵ (TiO_x im binären Oxid) ist das Al-Ti-System interessant. Eigene Ergebnisse an aufgestäubten Al-Ti-Schichten (im Bild 2 grob vermerkt) sind im Vergleich zu Al-Ta im Bild 3 detailliert dargestellt.

Mehrkomponentige Systeme neigen zu einer Mehrphasigkeit der Schichtstruktur, die über machbare Gleichgewichtszustände ent-

sprechender Kompaktwerkstoffe weit hinausgeht. Das System Al-Ti zeigt diesen Sachverhalt besonders auffällig, wobei ein starker Einfluß der Substrattemperatur T festzustellen ist. In Bild 4 sind für Al bzw. Al-Ti mit unterschiedlichen Atomenkonzentrationen die Ergebnisse von TEM-Untersuchungen an dünnen Schichten ($d = 40 \text{ nm}$) den $\rho(T)$ -Werten dickerer Schichten gegenübergestellt. Zusätzlich zeigten Röntgenaufnahmen an einer dicken Al-Schicht auf Si/SiO₂-Substrat typische Texturmerkmale, die aber auch schon bei den dünnen Schichten anhand der Beugungsaufnahmen in Bild 4 nachweisbar sind.

Schlußfolgerung:

- Aus technologischer Sicht muß auf Reproduzierbarkeit der Schichtstruktur und damit der elektrischen Zielparameter orientiert werden. Dies und Fragen der elektrischen Langzeitstabilität erfordern weitere Untersuchungen am Al-Ti-System.
- In einer späteren Veröffentlichung /7/ kann jedoch bereits jetzt gezeigt werden, daß auch anodische Al-Ti-Oxidschichten für Dünnschichtkondensatoren interessante Eigenschaften aufweisen (z. B. hohes ϵ , niedrige I_R).

Literatur:

- /1/ H.-D. Langer, Dissertation, TH Ilmenau (1970)
- /2/ H.-D. Langer
in Elektronenstruktur VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1972), S. 293
- /3/ S. Beck u. M.
Tantal-Aluminium-Dünnschichttechnologie (1980)
- /4/ H. Baeger, in NTC-Fachberichte, Bd. 60 (1977)
- /5/ H. Bukeles, in NTC-Fachberichte, Bd. 60 (1977)
- /6/ M.H. Rotterman, H.J. Bill, ESF 61 (1979) 281
- /7/ U. Bröhl, H.-D. Langer, Berichtsband der 4. Tagung Kondensatoren, Karl-Marx-Stadt/Chemnitz, 17. - 19. März 1987, S. 121

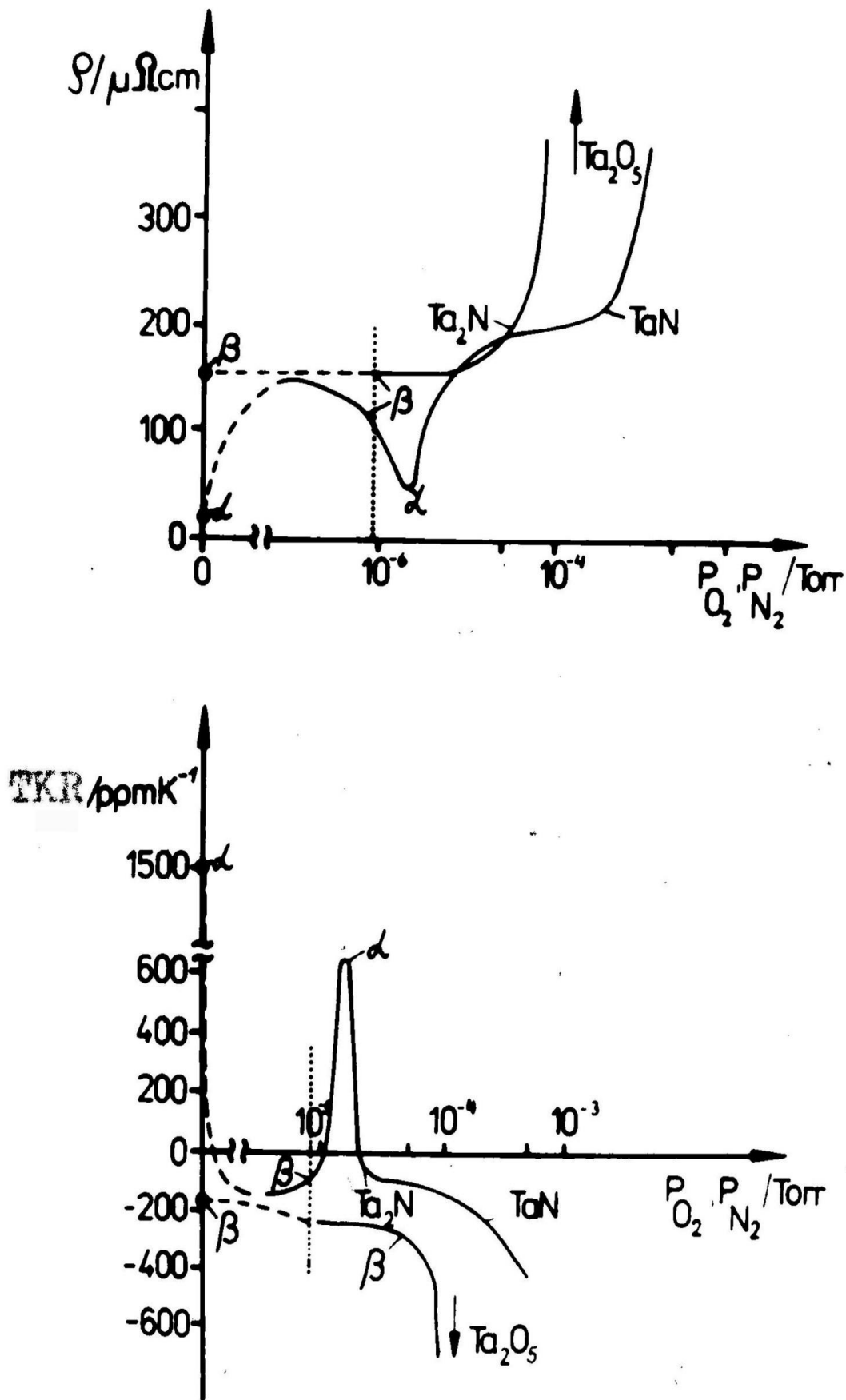


Abb.1 Spezifischer Widerstand und TKR von dotierten(O,N) Ta - Sputterschichten (punktierte Linien kennzeichnen eigenen experimentellen Arbeitsbereich)

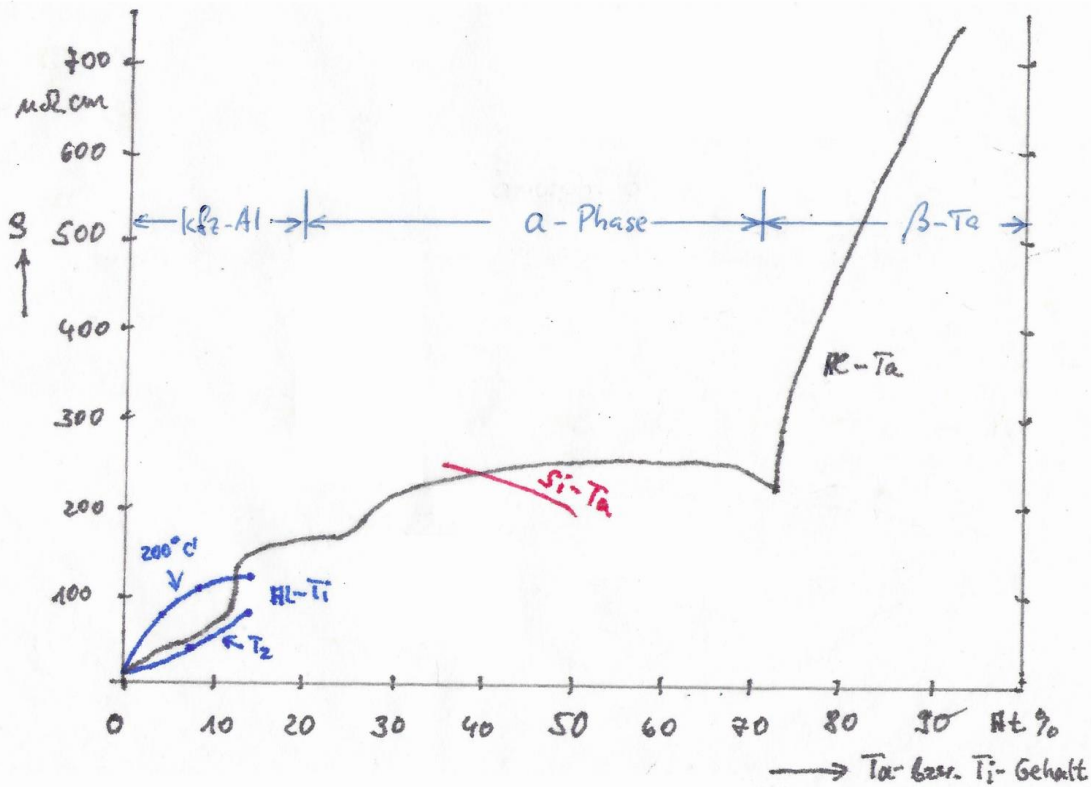


Abb. 2a Einfluß der Legierungszusammensetzung auf den spezifischen elektrischen Widerstand von dünnen Schichten

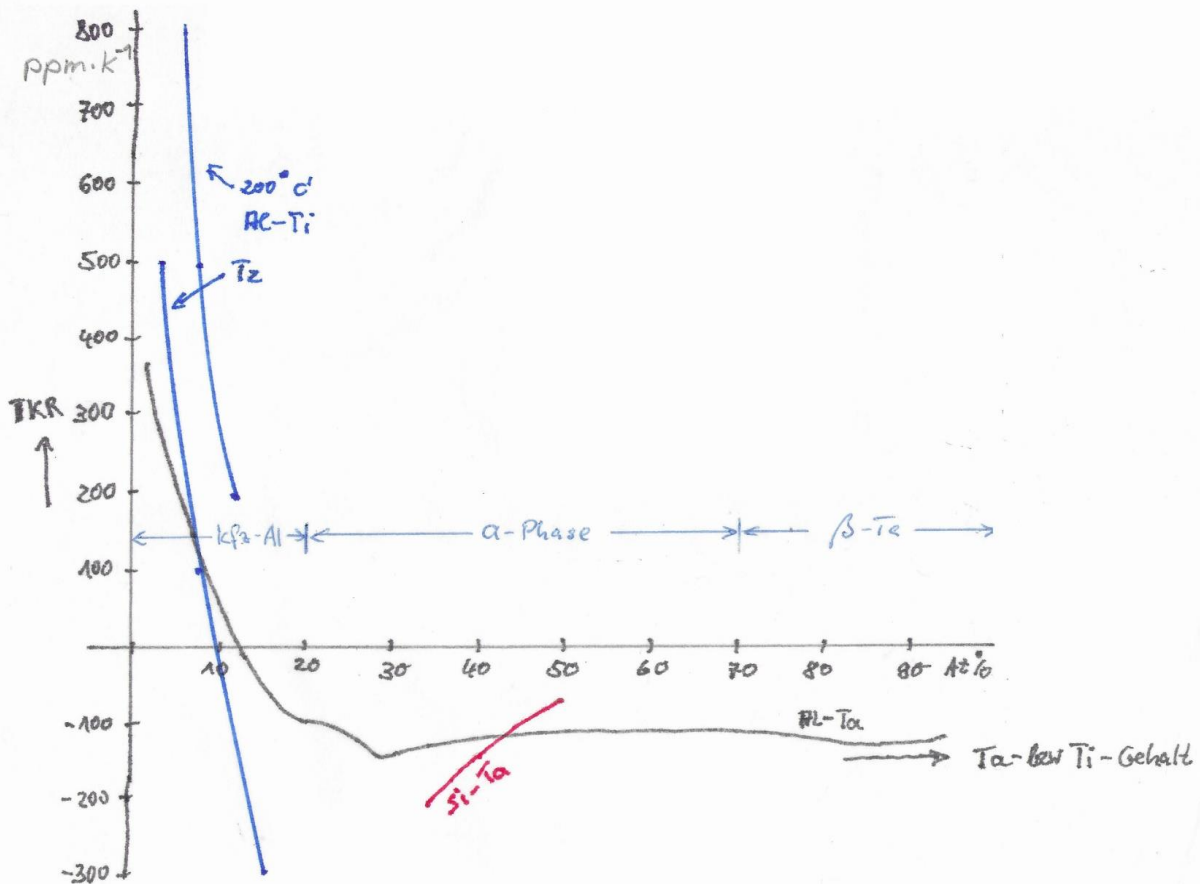


Abb. 2b Einfluß der Legierungszusammensetzung auf den Temperaturkoeffizienten von dünnen Schichten

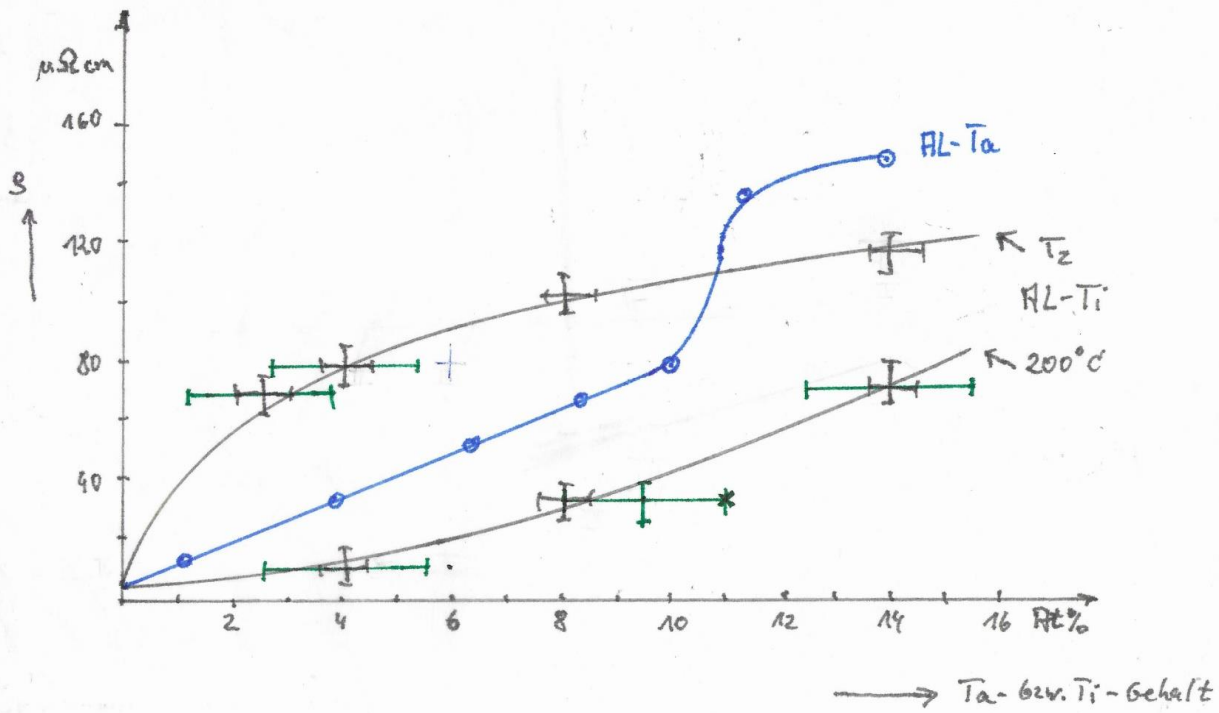


Abb. 3a Einfluß der Legierungszusammensetzung auf den spezifischen elektrischen Widerstand von dünnen Schichten

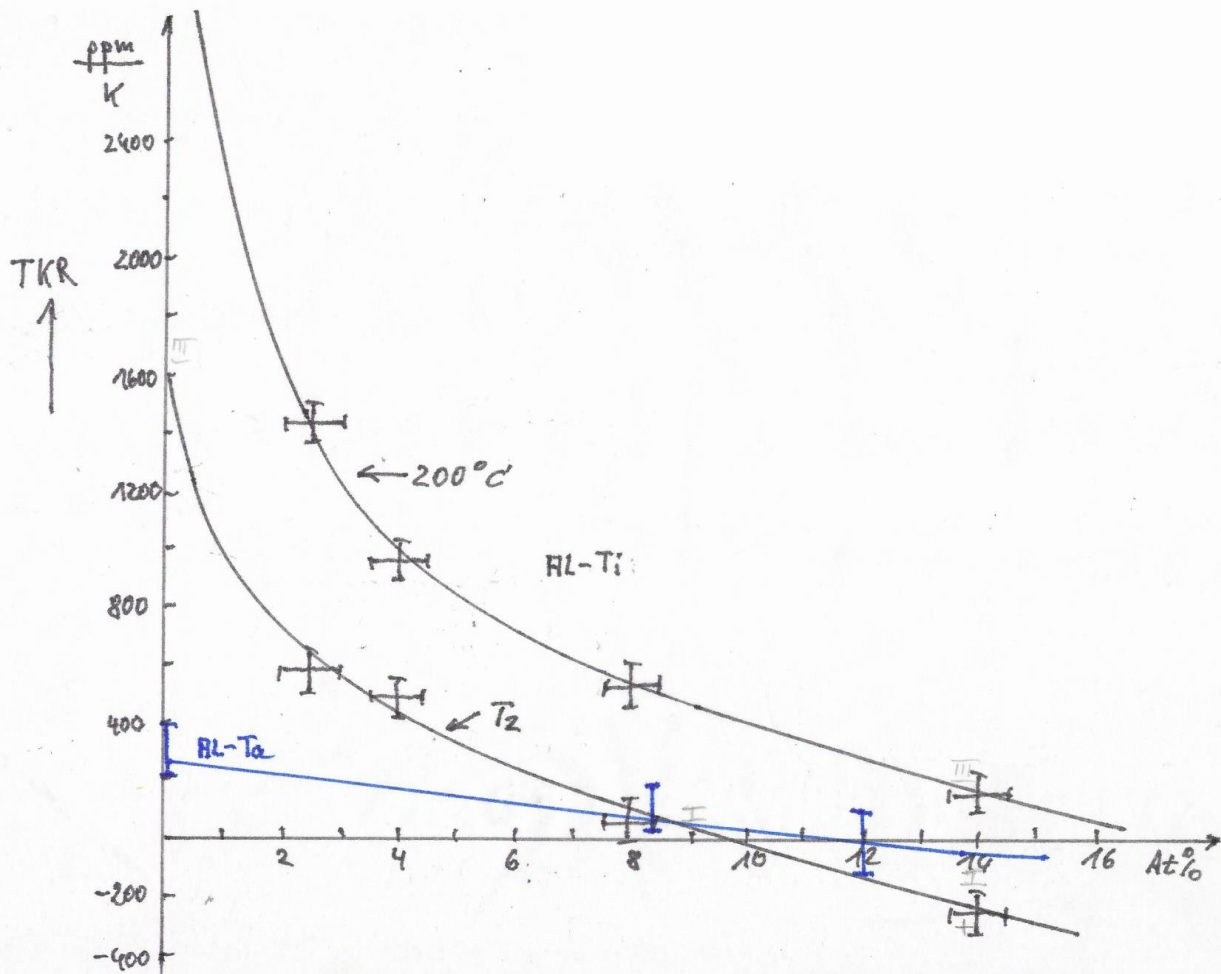


Abb. 3b Einfluß der Zusammensetzung auf den Temperaturkoeffizienten TKR von Widerstandsschichten

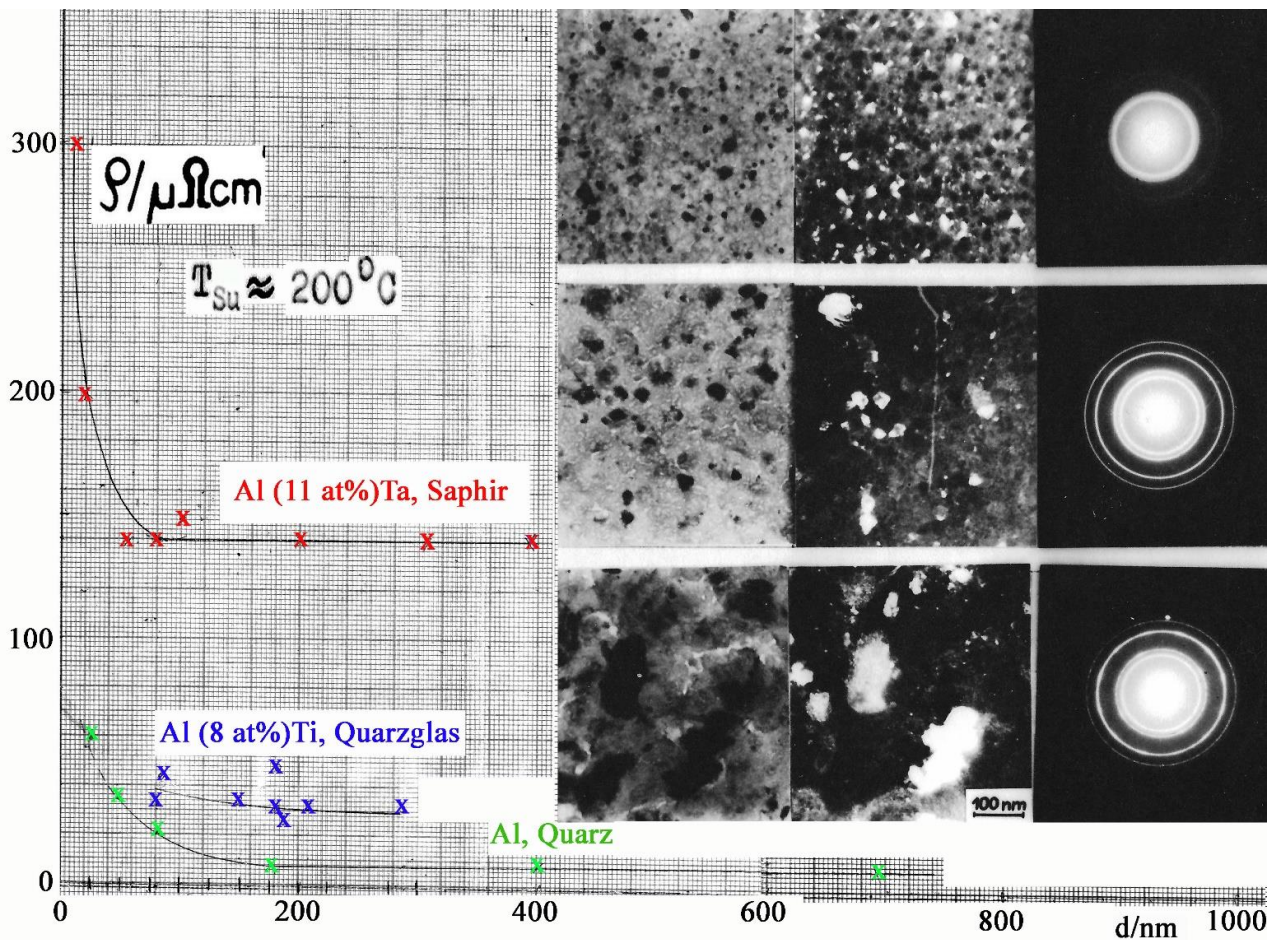


Abb. 4 Spezifischer elektrischer Widerstand als Funktion der Schichtdicke und elektronenmikroskopische Aufnahmen in Transmission (TEM)

TEM(Hellfeld, Dunkelfeld)- und Beugungsaufnahmen von dünnen AlTi-Schichten, $d \approx 40\text{nm}$, Ti-Anteil ca. 11 At%, T_{Su} Substrattemperatur: 50°C , oben; 100°C , mitte; 200°C , unten

Das Beugungsbild läßt ein Phasengemisch erkennen, bestehend aus einer kfz-Al-Phase und einer Ti-haltigen Phase, welche nicht näher charakterisiert werden und neben Ti auch Al und Sauerstoff enthalten kann.

Mit steigender Substrattemperatur nehmen Kristallitgröße und -orientierungsgrad der kfz-Al-Phase zu.