

# Pictures to: Kristallfehler in hochintegrierten Schaltkreisen aus Silizium Part 3

## (Crystal Lattice Defects in Highly Integrated Silicon Devices)

In what follows you see the third part of the "Abbildungen" (Pictures) as they occur in the report. The scans were made from my still existing copy and some of the pictures were somewhat processed by me to improve clarity.

The figure captions are included so there is no need for further text.

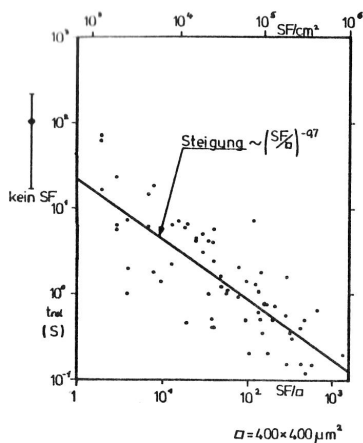


Abb. 46 Speicherzeit  $t_{rel}$  eines  $400 \times 400 \mu m^2$  großen MOS-Kondensators gegen die Anzahl der darin enthaltenen Stapelfehler SF, gemessen an 50 Scheiben einer Charge. Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt  $-0,735/50/$ .

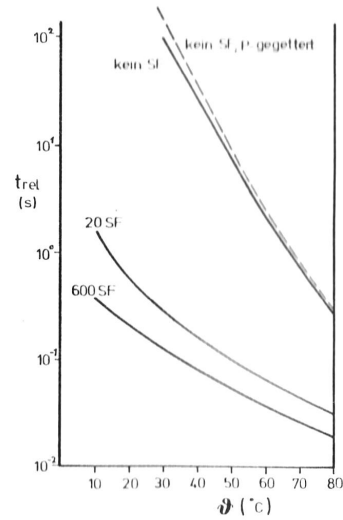


Abb. 47 Die Temperaturabhängigkeit der Speicherzeit  $t_{rel}$  von MOS-Kondensatoren nimmt mit zunehmender Anzahl von Stapelfehlern (SF) im Kondensator ab. Stapelfehlerfreie Kondensatoren zeigen ähnlich hohe Speicherzeiten wie Phosphorrückseiten-gegeterte. (siehe 6.2.2.1.)

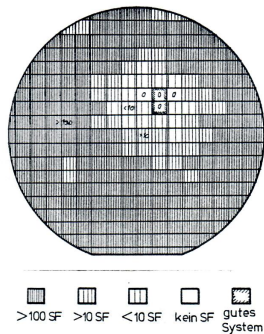
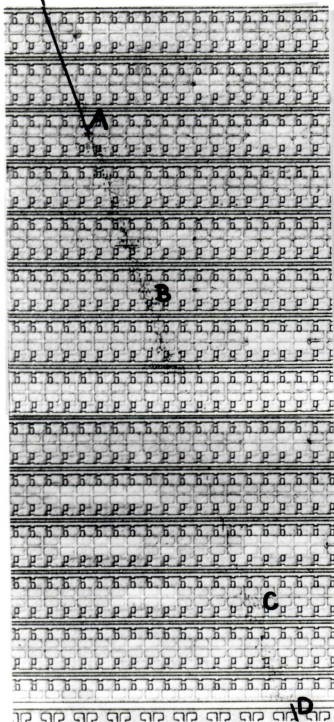


Abb. 48 Ausbeutebild einer 3 " Scheibe mit dynamischen 4096 bit MOS-Speichern: Die beiden guten Systeme liegen im Bereich, wo keine Stapelfehler gefunden wurden.



Ausschnitt eines 4096 bit MOS-Speichers nach SIRTIL-Ätzung. Entlang der Linie A - D läuft ein Band von Versetzungsätzgruben. Zwischen A und B sowie C und D fielen alle Speicherzellen schon bei Raumtemperatur bei der Refreshmessung aus.

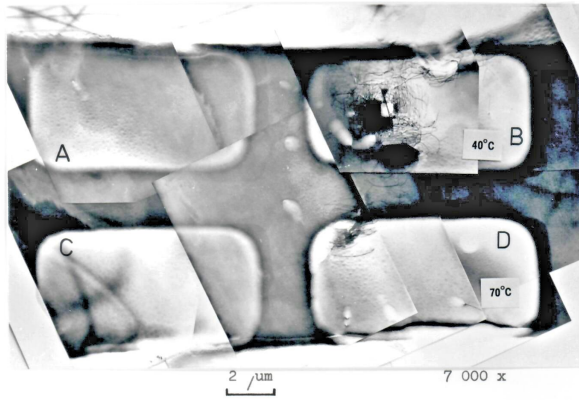


Abb. 50 TEM-Aufnahme von 4 Speicherkondensatoren (ABCD). Kondensator B enthält sehr viel mehr Versetzungen als D. B hatte einen Refreshausfall bei 40 °, D bei 70 ° C. A, C waren in Ordnung.

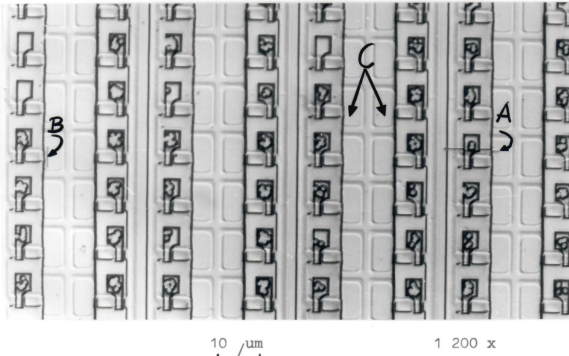
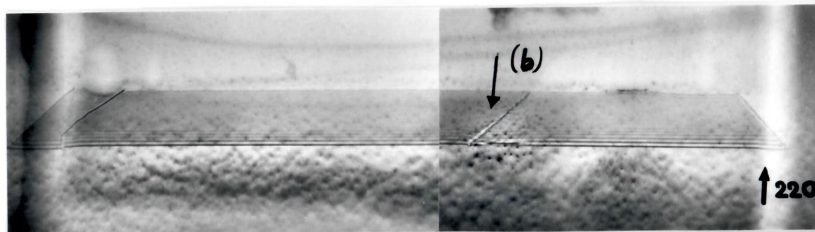
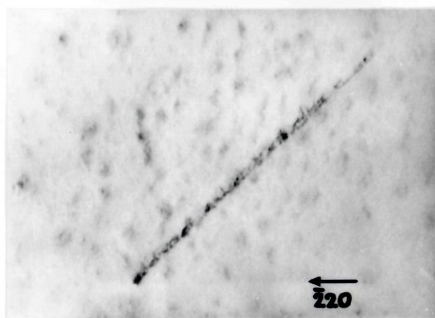


Abb. 51 Ausschnitt aus einem 4096 bit Speicher nach SIRTIL-Ätzung. Bei A und B liegen Stapelfehler ganz (B) oder teilweise (A) im Speicherkondensator. Nur A und B fielen bei der Refreshprüfung aus.  
C ... Speicherkondensatoren (Beispiel)

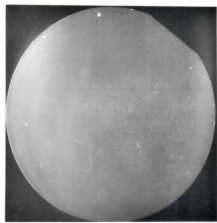


a)

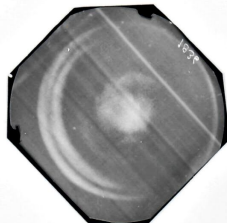


b)

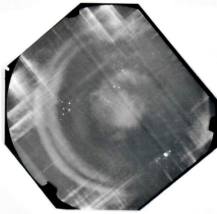
Abb. 52 TEM-Aufnahme. Doppelstapelfehler (a) mit stark dekorierter Partialversetzung (b). Der Versetzungs-kontrast selbst ist in (b) ausgelöscht, so daß die an der Partialversetzung liegenden Ausscheidungen allein sichtbar werden.



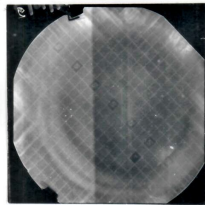
a) Ausgangsscheibe



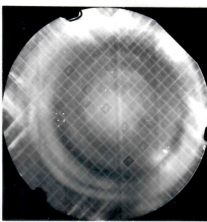
b) nach buried layer Diff.



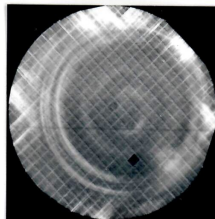
c) nach Epitaxie



d) nach Kollektortiefdiff.



e) nach Remiddiff.

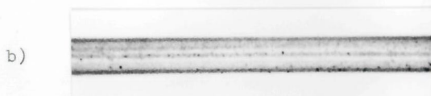


f) fertige Scheibe

Abb. 53 Prozeßverfolgung mit LANG-Topographie: Sauerstoffausscheidungsdefekte tauchen nach buried layer Diffusion auf, Gleitlinien nach der Epitaxie.



a)



b)

Abb. 54 Sektions-Röntgentopogramme der Scheibe von Abb. 54 f

- a) Für den Bereich der ringförmig angeordneten Sauerstoffausscheidungen sind die schräg durch das Scheibenvolumen verlaufenden Kontraste typisch. Sie ergeben sich aus der kugelkalottenförmigen räumlichen Anordnung der Sauerstoffausscheidungen, die wiederum durch das Kristallwachstum bedingt ist.
- b) Der Bereich außerhalb der "Sauerstoffringe" zeigt nur oberflächenparallele Pendellösungsstreifen, die für relativ ungestörte Kristallbereiche typisch sind.

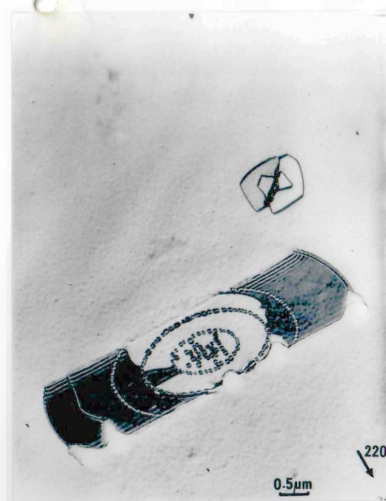
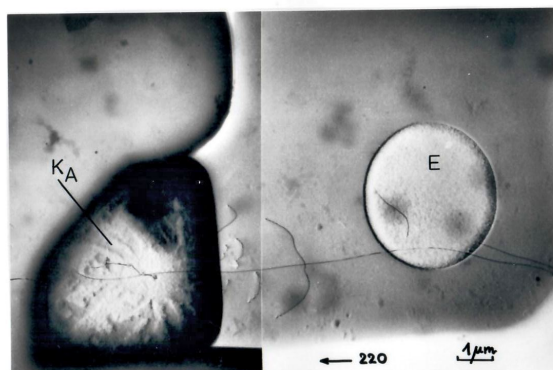


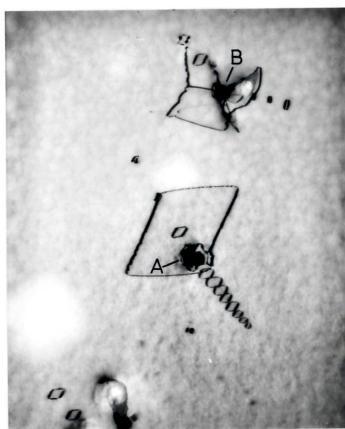
Abb. 55 TEM-Aufnahme eines komplizierten Defektes im Substrat einer Scheibe mit fertigen Schaltkreisen. Teile des Defektes wurden bei der Präparation weggeätzt. Die Dynamik der Entstehung dieser Sauerstoffausscheidungsdefekte kommt in der "Jahresringstruktur" zum Ausdruck. Von Prozeßschritt zu Prozeßschritt ist ausgehend von den Ausscheidungen (Kaffeebohnenkontraste) im Zentrum ein kompliziertes Gebilde aus Stapelfehlern und weiteren Ausscheidungen entstanden.



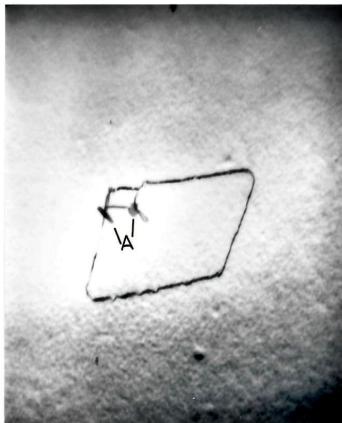


8 500 x

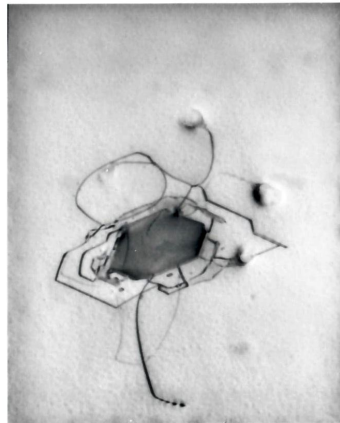
Abb. 56 Ausschnitt aus einem Transistor in OXIS-Technologie: Versetzungen laufen aus dem hoch Phosphor dotierten Kollektorkontakt  $K_A$  bis in den Emitter E und verursachen ein pipe (TEM).



a) 1  $\mu$ m 16 500 x



b) 1  $\mu$ m 18 000 x



c) 1  $\mu$ m 18 000 x

Abb. 57 TEM-Aufnahmen verschiedener Defekte in tiegelgezogenen Substratscheiben nach Temperaturprozessen.

- a) Ausscheidungen (A, B), die viele Versetzungsschleifen ausgestoßen haben (sog. "loop punching").
- b) Versetzungsschleife mit Ausscheidungen.
- c) Große plättchenartige Ausscheidung im Zentrum des Defekts, die wahrscheinlich auch die Versetzungen aufgrund von Gitterfehlpassung generiert hat.

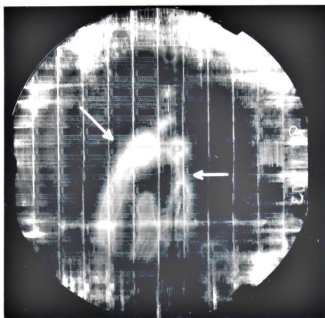


Abb. 58 Typischer Schleierkontrast im LANG-Topogramm

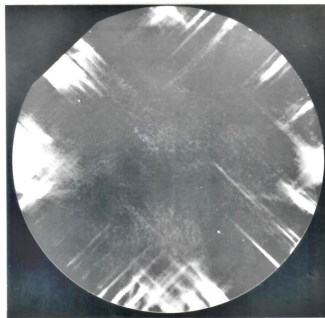


Abb. 59 a Scheibe nach der Epitaxie; kein Schleierkontrast im LANG-Topogramm

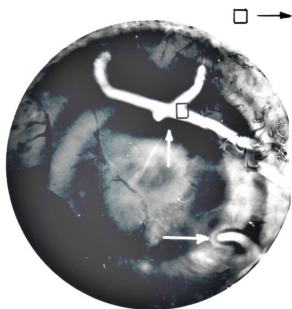


Abb. 59 b Ätzbild nach Epitaxie. Starke Schleiermuster

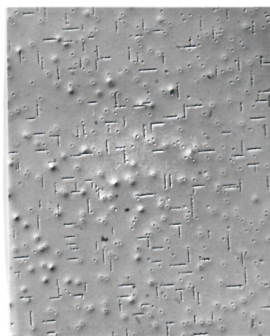
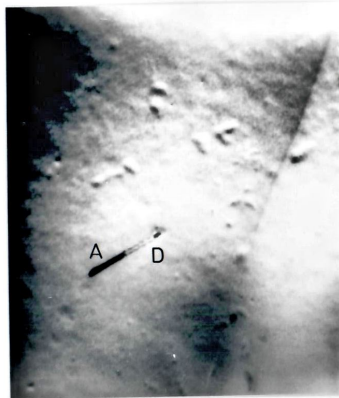
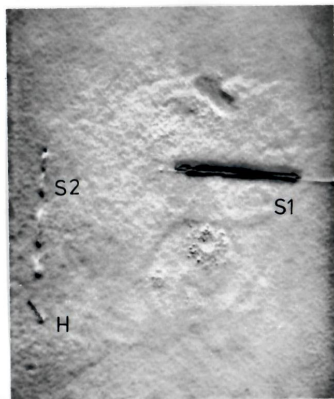


Abb. 59 c Wie b, mikroskopisch Stapelfehler, Ätzhügel und Ätzgruben



a) 1 µm 18 000 x



b) 1 µm 12 000 x



c) 1 µm 21 500 x

Abb. 60 TEM-Aufnahmen von Schleierdefekten nach dem Epitaxieprozeß.  
a) Haarnadelartiger Defekt, bestehend aus Versetzungsdipol D und Ausscheidung A, der wahrscheinlich mit Fe-Silicid ( $\alpha$ -Lebolit) identisch ist /62/.  
b) Stapelfehlerartige Defekte S1, S2 und ein haarnadelartiger Defekt H; bei dem vorliegenden Beugungsvektor ist der Stapelfehler S2 nicht in Kontrast.  
c) Längliche Ausscheidung, welche die TEM-Probe an beiden Oberflächen durchstößt und an der mit SIRTIL-Ätzung behandelten Seite in eine Ätzgrube (heller Fleck) mündet.

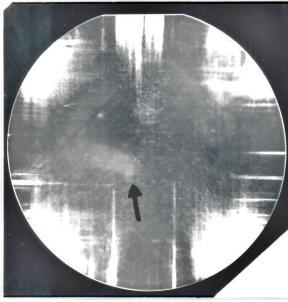


Abb. 61 Nach Oxidation II im LANG-Topogramm schwacher Schleierkontrast

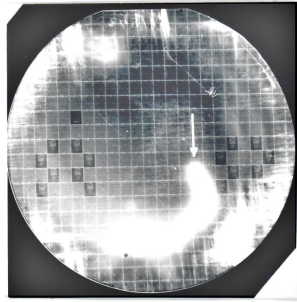


Abb. 62 Nach Emitterdiffusion im LANG-Topogramm starker Schleier

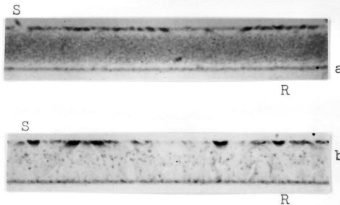


Abb. 63 Sektionstopogramm (liefert Querschnittsbild)

a im Schleierbereich Einzeldefekte in hoher Konzentration  
b etwas außerhalb geringe Dichte von Einzeldefekten

R ... Rückseite  
S ... Systemseite

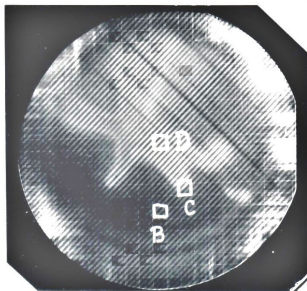
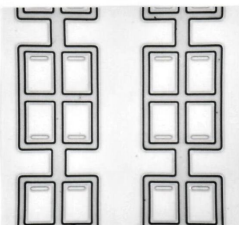


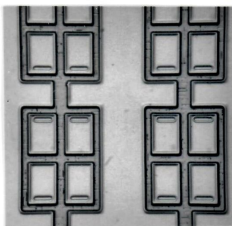
Abb. 64 a

Nach Kollektortiefdiffusion Röntgentopographischer Schleierkontrast; Streifung ist apparaturbedingt.

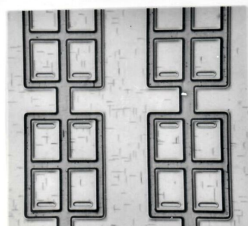
B, C, D Bereiche, aus denen die Mikroaufnahmen des Bildes 64 b, c, d stammen



b) Aus Bereich B (kein Schleier)  
Frei von Stapelfehlern



c) Aus Bereich C (Schleierinnenbereich)  
Stapelfehler nur in Isolationsrahmen



d) Aus Bereich D (Schleiertrand)  
Stapelfehler auf der ganzen Fläche, auch im Transistorfeld

100  $\mu$ m 200 x

Abb. 64 b, c, d Ätzbilder aus den in Abb. 64 a eingezeichneten Bereichen B, C, und D.



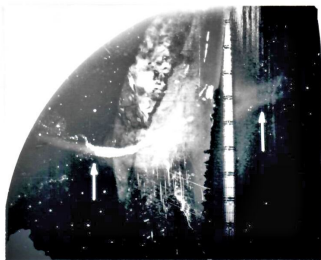


Abb. 65

Scheibe nach der Epitaxie mit Schrägschliff im rechten Teil; im Ätzbild ist der Schleier auch im Volumen schwach sichtbar.

Oberfläche

Schrägschliffbereich

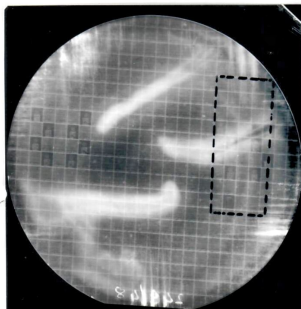


Abb. 66 a LANG-Topogramm  
Nach Emittierdiffusion  
mit starken Schleiern.



Abb. 66 b Schrägschliff (geätzt)  
aus dem links angegebenen Bereich.

Keine Schleierdefekte in Oberflächennähe. Schleier im Volumen gut sichtbar. Daneben Sauerstoffausscheidungsdefekte in Kreisbogenmuster.



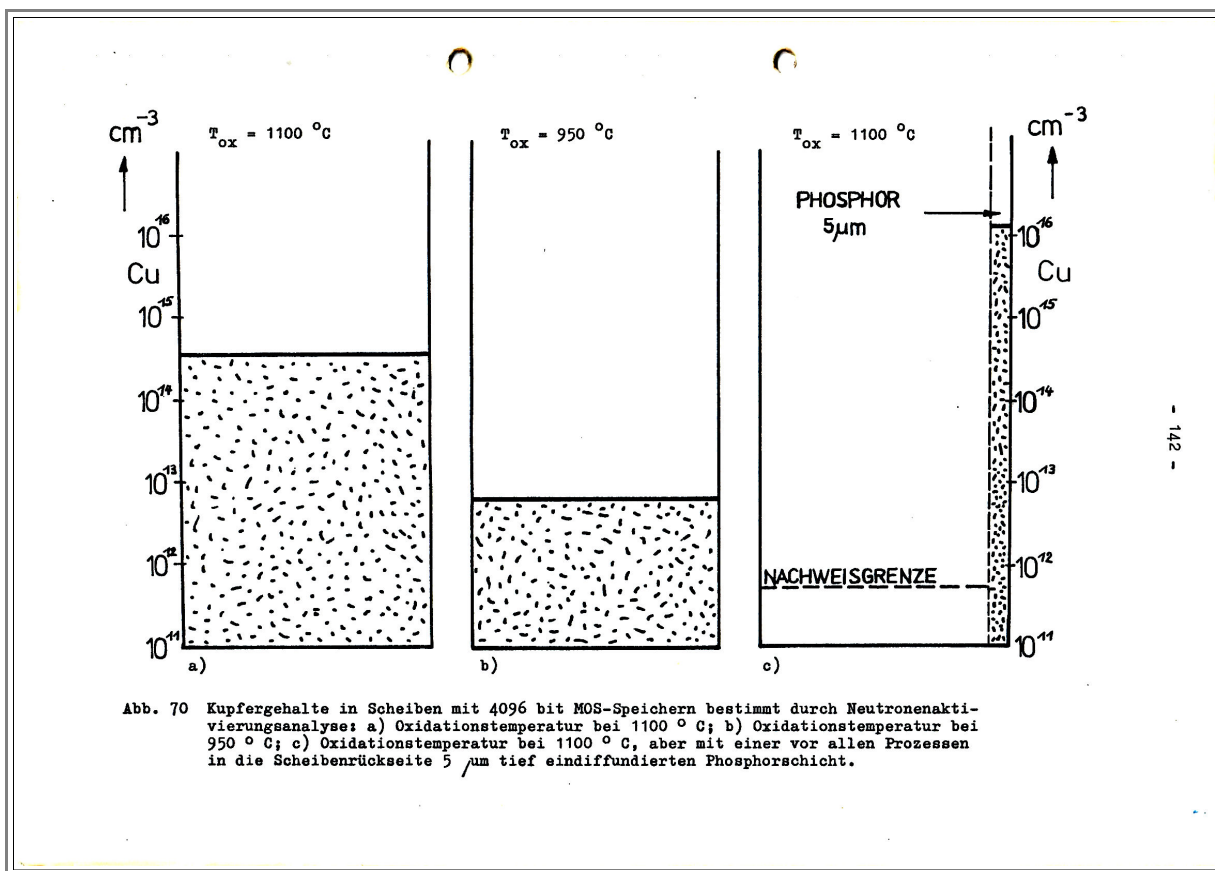
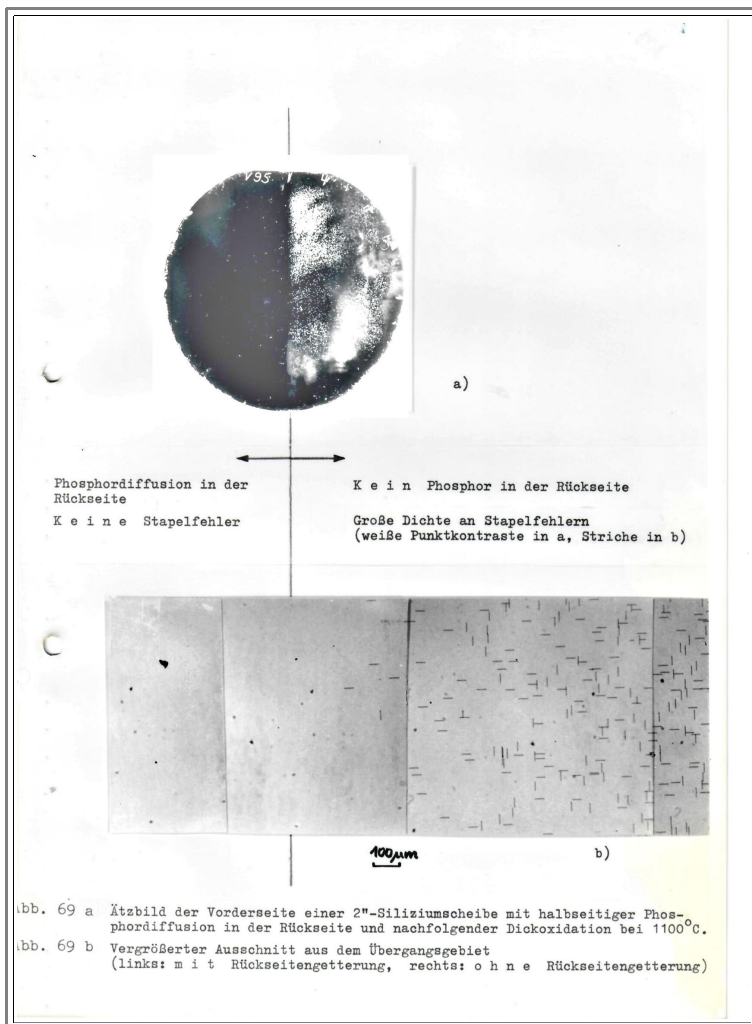
Abb. 67 Scheibe aus dem OXIS-Prozeß nach Epitaxie, Nitridfototechnik und Grabenätzung. Schleier sind hier schon mit freiem Auge ohne SIRTIL-Ätzung im Auflicht sichtbar.

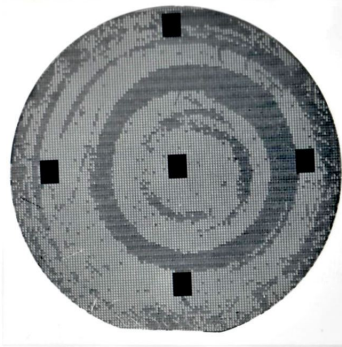


1  $\mu$ m 16 500 x

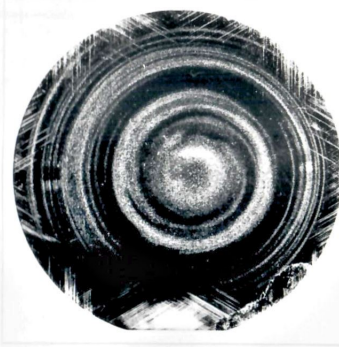
Abb. 68 Komplizierter Kristalldefekt, der durch Ausscheidung von Kupfer entstanden ist. Die eigentlichen Cu-Silicid-Ausscheidungen sind die winzigen punktförmigen oder kaffeebohnenartigen Kontraste, die Versetzungsschleifen vom Zwischengitteratomtyp generiert haben (TEM).







a) Ausbeutebild 2 " Scheibe



b) Ätzbild

Abb. 71 Auswirkung von Kristallfehlern im Substrat auf die elektrischen Eigenschaften von Einzeltransistoren in der Epitaxieschicht.  
Das (dunkle) Muster der schlechten Transistoren (zu hoher Basis-Kollektor Sperrstrom) in a) verhält sich komplementär zum (hellen) Muster der Sauerstoffausscheidungsdefekte in b). Die guten Transistoren liegen über den Substratbereichen mit Kristallfehlern.