

Die kolorimetrische Prüfung von Dünnschichtparametern bei der Herstellung integrierter Schaltkreise

U. Muchamedchanow

Das Ziel der Arbeit besteht in der Entwicklung und gerätetechnischen Realisierung einer kolorimetrischen Methode zur Prüfung qualitativer Parameter von Dünnschichten bei der Herstellung integrierter Schaltkreise.

The concern of this paper is the development and hardware realization of colorimetric method for testing qualitative parameters of thin-emulsion films in the production of integrated circuits.

1 Einleitung

Das Entwicklungstempo der Rechentechnik, wie es sich in den letzten Jahren zeigte, wird in erster Linie durch die großen Erfolge der Mikroelektronik bestimmt. Das entscheidende in der Mikroelektronik ist die Dünnschichttechnologie. Dünnschichten werden als Schutzschicht bei der Diffusion genutzt. Außerdem sind Methoden des Aufbringens von Dünnschichten ein geeignetes Mittel zum Herstellen hochreiner Stoffe und von Materialien mit genau bestimmter Zusammensetzung. Schließlich kann man moderne hochintegrierte Schaltkreise praktisch nur unter Anwendung der Dünnschichttechnologie produzieren.

Eine Analyse bekannter Methoden zur Prüfung der wichtigsten Güteparameter (wie Dicke, Lichtbrechung, Körnigkeit, äußeres Aussehen usw.) von Dünnschichten in der Mikroelektroniktechnologie zeigte die Notwendigkeit ihrer weiteren Vervollkommnung.

Die bekannten Methoden sind entweder zerstörende Verfahren oder entsprechen in Genauigkeit und Arbeitsaufwand nicht den an sie gestellten Forderungen. Die genutzten Geräte sind kostenintensiv, umständlich in der Anwendung und was das wichtigste ist, sie sind auf eine Auswahlprüfung und nicht auf eine Serienprüfung der Erzeugnisse gerichtet. Die Bestimmung des Ausschusses erfolgt nicht während des Produktionsprozesses, sondern nach Fertigstellung der Schaltkreise.

Unter diesem Gesichtspunkt erscheint eine Methode zur Parameterbestimmung von Dünnschichten auf der Basis ihrer Farbe als perspektivreich. Die Bestimmung der Qualität von Dünnschichten auf der Basis der Farbe wurde bislang visuell durchgeführt. Die Entwicklung dieser Methode wurde infolge nicht vorhandener Meßgeräte und des Fehlens einer Meßmethodik gehemmt.

Die Ausarbeitung einer effektiven gerätetechnischen Methode zur Prüfung der Parameter von Dünnschichten, die auf eine Serienprüfung von Schaltkreisen in verschiedenen Etappen des technologischen Prozesses orientiert ist, ist in der Mikroelektroniktechnologie höchst aktuell. Dabei wächst die Bedeutung einer solchen Entwicklung mit den gegenwärtigen Anforderungen bezüglich der Produktionssteigerung in der mikroelektronischen Industrie, wo etwa 50 % des Aufwandes für die Prüfung der Parameter der Schaltkreise aufgebracht werden [1].

2 Gegenwärtiger Stand der Prüfung von Dünnschichtparametern in der Mikroelektroniktechnologie

Ein moderner mikroelektronischer Schaltkreis kann vereinfacht als Parallelepipäde eines Halbleitermonokristalls (gewöhnlich Silizium) geringer Abmessungen aufgefaßt werden. Dieser Monokristall enthält legierte Abschnitte mit unterschiedlicher Leitfähigkeit. Auf seiner Oberfläche sind in Form von bestimmten geometrischen Figuren dünne Schichten von Metallen und Dielektrika aufgebracht. Deshalb wird die Zuverlässigkeit eines integrierten Schaltkreises von der Qualität des Auftrags einer Anzahl dünner Schichten bestimmt.

Im Ergebnis einer Analyse war es möglich, die wichtigsten Parameter, die die Qualität des Dünnschichtes charakterisieren, im Bild 1 zusammenzustellen.

Eine Analyse der Struktur der Informationsströme über die Qualität der Durchführung des zu untersuchenden Produktionsprozesses gestattet, Daten über den Umfang der Meßinformationen bezüglich der entsprechenden Parameter zu bestimmen. Der überwiegende Anteil (33,3 Prozent) entfällt auf die Prüfung der Dicke des Dünnschichtes. Sie wird gefolgt vom Oberflächenwiderstand (23,8 Prozent). Die letzteren korrelieren sehr eng mit der Dicke des Dünnschichtes [2].

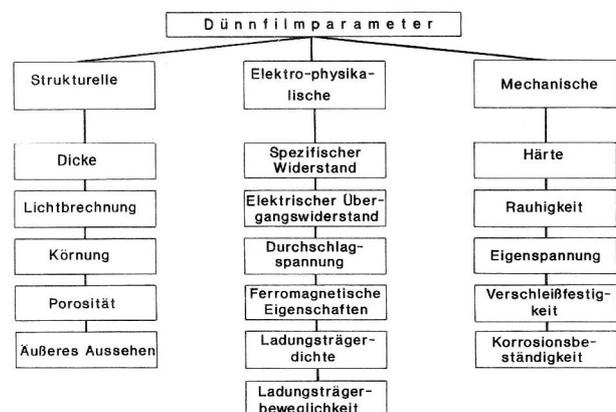


Bild 1
Klassifikation von Dünnschichtparametern

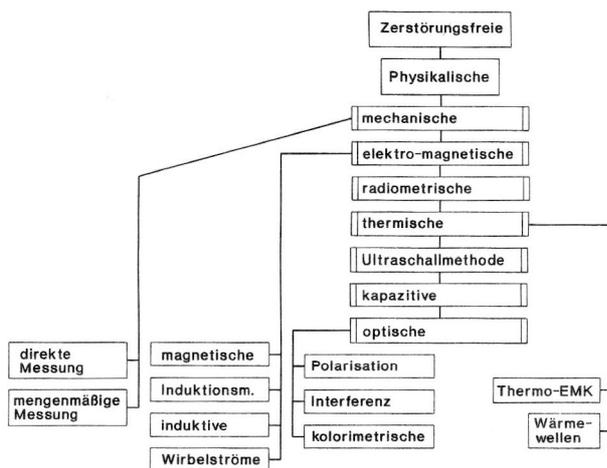
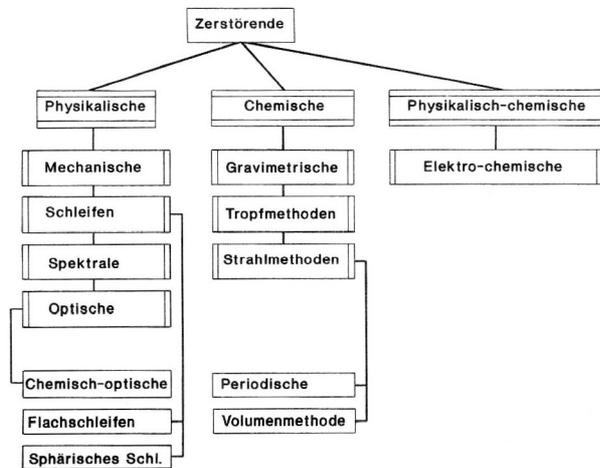
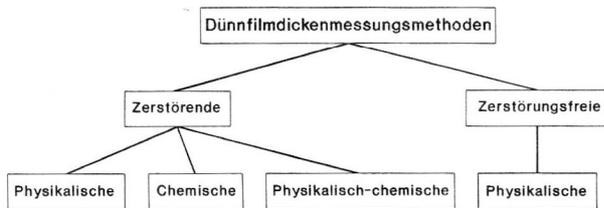


Bild 2
 Klassifikation von Methoden der Dünnschichtdickenmessung
 a) Übersicht
 b) Zerstörende Methoden
 c) Zerstörungsfreie Methoden

Im Bild 2 wird eine Klassifikation von Methoden zur Prüfung der Dicke von Dünnschichten vorgestellt. Eine Untersuchung der Genauigkeitskennwerte und anderer Kennwerte der betrachteten Methoden und der ihnen entsprechenden Meßmittel weist auf die Zukunftsträchtigkeit der Anwendung optischer Methoden bei der Produktion von integrierten Schaltkreisen hin (Interferenzmethoden, Polarisationsmethoden).

Die Dauer des Meßprozesses und die Schwierigkeit der Verarbeitung seiner Daten beschränken die Anwendung der letzteren, zumal sie außerdem Auswahlmethoden bzw. Labormethoden sind. Wegen dieser Umstände erhielt das visuelle Verfahren zur Prüfung der Dicke von Dünnschichten

auf der Basis seiner Farbe den Vorzug, um im laufenden technologischen Prozeß integrierte Schaltkreise zu prüfen. Allerdings bestimmt der subjektive Faktor des Prüfenden den wesentlichen Fehler des Verfahrens.

Die Korrelation der Farbe und der Dicke des Dünnschichtes ist bedingt durch die Interferenz der Lichtstrahlen, die an der Grenze eines Abschnittes reflektieren: „Umwelt-Schicht“ und „Schicht-Träger“.

Der allgemeine Ausdruck für die Interferenz ist:

$$P = (2/\lambda) D n_1 \sqrt{(n_{21}^2 - \sin^2 \theta_1) + 1/2 + (\psi_2 + \psi_3)/2\pi}; \quad (1)$$

mit P Anzahl der Halbwellen ($\lambda/2$) der auftreffenden Strahlung, D -Schichtdicke.

Es gilt:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \tan \theta_1 \quad (2)$$

worin

- θ_1 der Auftreffwinkel,
- n_1 Brechungsindex der Umwelt,
- n_2 Brechungsindex des Dünnschichtes,
- ψ_2 Phasenverschiebung, die bei der Reflexion der Welle an der Grenze des Abschnittes „Dünnschicht-Träger“ entsteht,
- ψ_3 zusätzliche Verschiebung, die nicht von der Schichtdickenänderung des Dünnschichtes abhängt [3].

3 Entwicklung kolorimetrischer und gerätetechnischer Methoden für die Prüfung von Dünnschichtparametern in der Mikroelektroniktechnologie

Für die quantitative Beurteilung der Farbe von Dünnschichten erfolgt die Auswahl kolorimetrischer Charakteristiken. Zweckmäßig ist ein Koordinatensystem der Farben X, Y, Z (Internationale Kommission für Beleuchtung 1931), das auf der Basis der drei genannten Einheitsfarben aufgebaut ist:

$$\begin{aligned} X &= K \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{X}(\lambda) d\lambda, \\ Y &= K \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda, \\ Z &= K \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{Z}(\lambda) d\lambda, \end{aligned} \quad (3)$$

worin

$$K = \frac{100}{\int_{\lambda} S(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda}$$

ein Normierungskoeffizient ist,

$S(\lambda)$ die relative spektrale Verteilung der Energie der Lichtquelle beschreibt und

$S(\lambda)d\lambda$ den spektralen Strom der Strahlen, der auf eine Oberflächeneinheit des Prüflings innerhalb eines kleinen Intervalls der Wellenlängen $d\lambda$ fällt, das λ enthält, bestimmt.

Der spektrale Strom, der die Augen des Beobachters erreicht, wird für undurchsichtige Stoffe folgendermaßen beschrieben:

$$\varphi(\lambda) d\lambda = \beta(\lambda) S(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

worin $\beta(\lambda)$ die Haupteigenschaft eines Objektes und verantwortlich für seine Farbe ist (spektraler Aperturreflexionskoeffizient), $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$, $\bar{Z}(\lambda)$ spezifische Koeffizienten, die den standardisierten kolorimetrischen Beobachter der Internationalen Kommission für Beleuchtung 1931 definieren. Für jede Wellenlänge λ zeigen die Ordinaten der drei wichtigsten Überlagerungsfunktionen $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$ und $\bar{Z}(\lambda)$ entsprechend die Quantität der Hauptfarben X, Y und Z [4].

Die Abhängigkeit von $\beta(\lambda)$ von der Dicke D des Dünnsfilms wird folgendermaßen beschrieben:

$$\beta_\lambda = \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23}\cos(-\Delta_{12} + \Delta_{23} - 4\pi n_2 D/\lambda)}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23}\cos(\Delta_{12} + \Delta_{23} - 4\pi n_2 D/\lambda)} \quad (5)$$

mit

$$r_{12} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

und

$$r_{23} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}$$

als Fresnelkoeffizienten,

n_1, n_2, n_3 Brechungsindexe entsprechend für die Umwelt, den Dünnsfilm und den Träger,

Δ_{12}, Δ_{23} Phasensprünge an der Grenze der Stoffübergänge.

Der Ausdruck (5) gibt den Charakter des gespiegelten Lichtes an. Er wird durch die Interferenz des Lichtes bestimmt und hängt von der Differenz des Strahlenganges ab, den die optische Dicke des Films in den Strahl einbringt. Da die Brechungsindexe n_1, n_2 und n_3 konstant sind, ist der spektrale Aperturkoeffizient der Reflexion β_λ eine periodische Funktion des Argumentes ($\pm \Delta_{12} + \Delta_{23} - 4\pi n_2 D/\lambda$), das die beiden veränderlichen Größen D und λ enthält. Deshalb führen Änderungen bei einer dieser Größen zu Änderungen von β_λ [5].

Die experimentelle Überprüfung der ermittelten theoretischen Abhängigkeiten wurde durchgeführt. Dafür wurden Muster mit Schichten von Siliziumoxid (SiO_2) im Dickenbereich von (950 bis 2200) Å untersucht. Als Mustermeßeinrichtung der Dicke wurde ein Laserellipsometer eingesetzt.

Die Diagramme mit der Abhängigkeit der Koordinaten der Farben (X, Y, Z) und der Farbigkeit (x, y, z) von der Dicke des Dünnsfilms (Bild 3) zeigen die enge Korrelation zwischen diesen Parametern in den einzelnen Abschnitten. Linearität wird für die Abhängigkeit $Y = f(D)$ in den Bereichen (1230 bis 1480) Å und (1480 bis 1900) Å, für $Z = f(D)$ im Bereich (950 bis 1400) Å und für $y = f(D)$ im Bereich von (1230 bis 2200) Å beobachtet.

Ein anderer bestimmender Parameter der Qualität des Dünnsfilms ist der Brechungsindex. Bei der Interferenz des Lichtes im Dünnsfilm werden die maximalen und minimalen Werte β_M aus dem Verhältnis der Brechungsindexe n_1, n_2 und n_3 , der optischen Dicke $n_2 D$ und der Wellenlänge λ des auftreffenden Strahles bestimmt. Wie (5) zeigt, werden letztere auf folgende Art und Weise bestimmt:

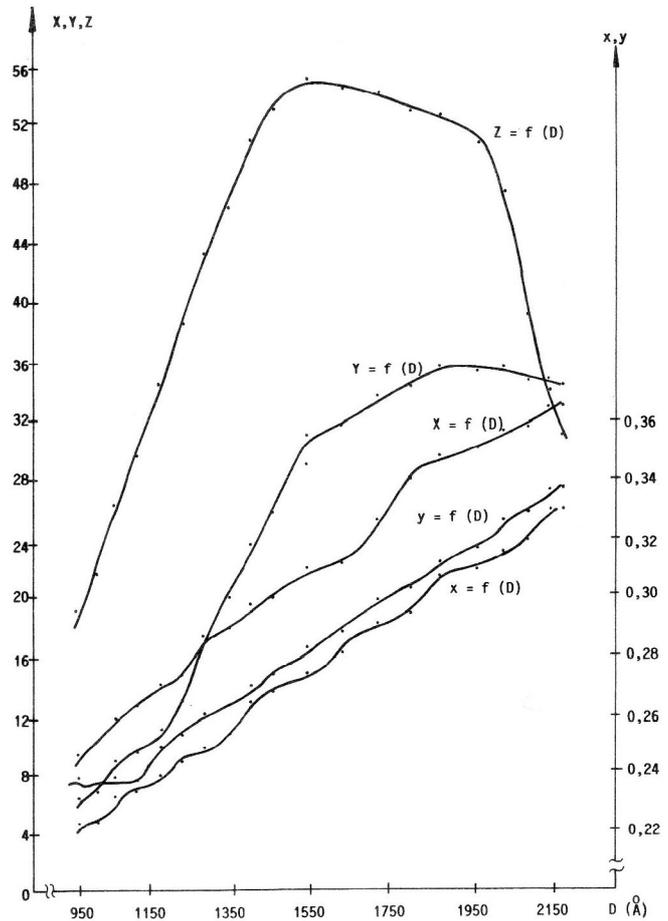


Bild 3

Abhängigkeit der Farbe und Farbigkeit von der Dünnsfilmdicke des Siliziumoxids

$$n_2 \geq n_3; \quad n_2 D = (2k+1)\lambda/4; \quad n_2 D = 2k\lambda/4, \quad (6)$$

worin

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

Der Extremwert

$$\beta_M = \frac{n_2^2 - n_1 n_3}{n_2^2 + n_1 n_3} \quad (7)$$

gestattet, den Brechungsindex des Dünnsfilms zu bestimmen:

$$n_2 = n_1 n_3 \frac{1 + \sqrt{\beta_M}}{1 - \sqrt{\beta_M}} \quad (8)$$

Mit anderen Worten: auf der Basis der spektralen Charakteristiken kann man mit in der Praxis ausreichender Genauigkeit die Werte des Brechungsindex des Dünnsfilms ermitteln.

Auf ähnliche Art und Weise wird die Zweckmäßigkeit der Nutzung der Farbcharakteristiken des Dünnsfilms für die Feststellung von Ausschub nach den wichtigen Qualitätsparametern begründet:

- Rauigkeit der Schichtgrenzen, die mit der Körnigkeit korreliert,
- räumliche Fluktuation der optischen Konstanten,
- Spiegelung und Porosität des Schichtmaterials,
- Vorhandensein von Mikrorissen und Mikroeinschlüssen.

Die Gesetze der Optik, die auf Dünnsfilme angewendet werden, gestatten die Beschreibung der Abhängigkeiten der Lichtreflexion von den oben genannten Oberflächenparametern.

Das gestreute Licht hat immer eine geänderte Ausbreitungsrichtung. Letztere wird durch die Indikatrix der Streuung $I(\alpha)$ bestimmt. Darin ist α der Brechungswinkel. Die Indikatrix der Streuung für ein Teilchen, das nicht das Licht absorbiert, wird nach folgender Beziehung bestimmt:

$$I(\alpha) = AN_0V^2I_0 \frac{1 + \cos^2\alpha}{L^2\lambda^4} \quad (9)$$

Darin bedeuten:

- A Proportionalitätsfaktor,
- N_0 Anzahl der Teilchen in einer Volumeneinheit des Mediums,
- V Volumen eines Teilchens,
- L Entfernung zwischen Streuungsobjekt und Beobachtungspunkt,
- I_0 Intensität des auftreffenden Lichtes.

Daraus folgt, daß die Intensität des gebrochenen Lichtes proportional λ^{-4} ist (Gesetz von Rayleigh).

Die Streuung des Lichtes in optisch reinen Medien ist molekular. Die Indikatrix der molekularen Streuung im Falle elektrisch isotroper Moleküle wird mit folgendem Ausdruck beschrieben:

$$I(\alpha) = \frac{2\pi BT}{L^2\lambda^2} \xi \left[\rho n \frac{dn}{dL} \right] I_0(1 + \cos^2\alpha) \quad (10)$$

mit:

- B Boltzmann-Konstante,
- T absolute Temperatur,
- ξ thermodynamischer Koeffizient der Zusammendrückbarkeit des Mediums,
- n Brechungsindex bei der Wellenlänge λ ,
- L Entfernung zwischen untersuchtem Objekt und Beobachtungspunkt.

Wenn die Abmessungen der Inhomogenität gleich der Wellenlänge oder größer als sie sind, dann hat die Abhängigkeit der Intensität des gestreuten Lichtes folgende Form:

$$I = \lambda^{-m}, \quad (11)$$

worin $m < 4$ ist und mit Vergrößerung der Abmessungen der Inhomogenität abnimmt.

Die theoretische Begründung der funktionellen Abhängigkeit der spektralen Reflexion von dem entsprechenden Parameter wurde experimentell bestätigt. Sie gibt die Berechtigung zur Anwendung der kolorimetrischen Prüfmethode bei der Einschätzung der Qualität von Dünnsfilmen während des Produktionsprozesses von integrierten Schaltkreisen.

4 Gerätetechnische Realisierung der kolorimetrischen Prüfung von Dünnsfilmparametern

Eine vergleichende Analyse der Anforderungen der Produktion und der technischen Möglichkeiten einer Reihe von Geräten bestätigt die Zweckmäßigkeit des Einsatzes des Spektrokolorimeters „Raduga-2“ und seiner Modifikation „Pulsar“ und „Spektron“ auf der Basis eines Mikrorechners [6]. Das Strukturschema des optischen und elektronischen Teiles des Gerätes „Raduga-2“ zeigt Bild 4.

Bei der praktischen Nutzung der entwickelten Modelle, die auf der Auswahl des linearen Bereiches der Abhängigkeit „Farbe – Dicke“ von einer einzelnen Koordinate der Farbe oder der Farbigkeit basieren, offenbaren sich ihre Nachteile:

- unzureichende Genauigkeit bei der industriellen Anwendung,
- Notwendigkeit des Überganges zu verschiedenen Modellen.

Die genannten Nachteile machen die Untersuchung der nichtlinearen Abhängigkeit „Farbe – Dicke“ im gesamten Dickenbereich des Dünnsfilms unter Nutzung aller Koordinaten der Farbe notwendig. Eine entsprechende Form des Modells wird auf der Basis von Rechnersimulationen erhalten, und zwar:

$$D = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4X^2 + a_5Y^2 + a_6Z^2 + a_7XY + a_8XZ + a_9YZ + a_{10}XYZ. \quad (12)$$

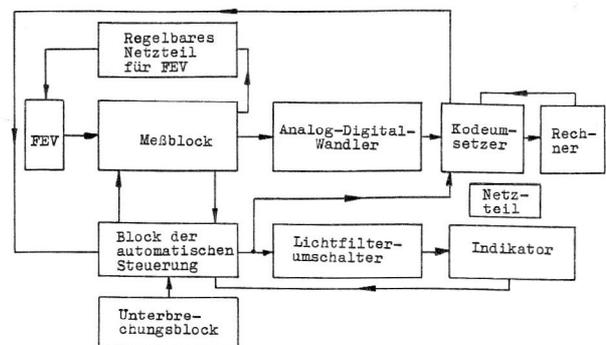
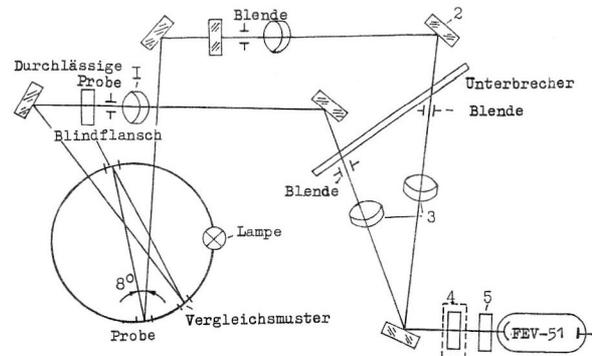


Bild 4
Strukturschema des optischen und elektronischen Teiles des Gerätes „Raduga-2“

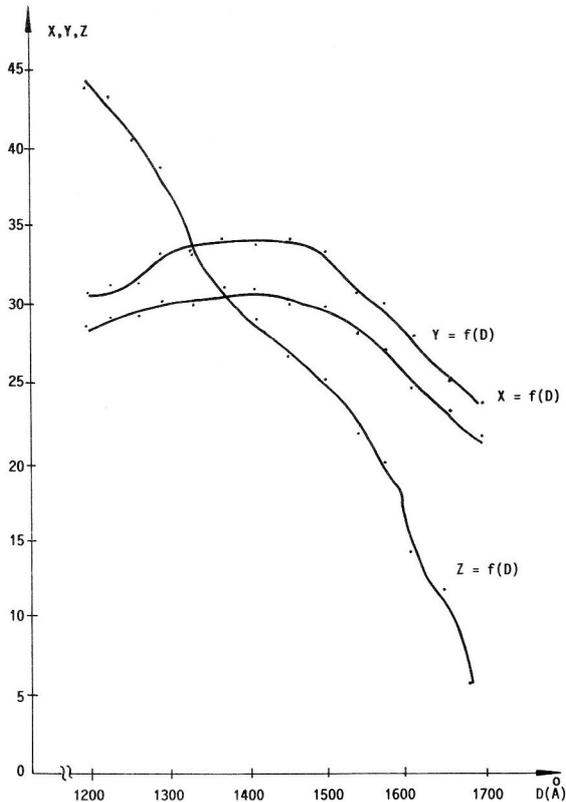


Bild 5
Abhängigkeit der Farbe von der Dünnschichtdicke des Siliziumnitrids

Nach der Methode der kleinsten Quadrate werden mittels Rechner die Koeffizienten der approximierenden Gleichung bestimmt. Der Fehler der Berechnungen überschreitet im gesamten Dickenbereich nicht 1 Prozent.

Das Zusammenführen der Programme zur Messung der Farbcharakteristiken und des Modells der Abhängigkeit „Farbe – Dicke“ ermöglichte es, unmittelbar die Dicke des Dünnschichtfilms im Bereich von (950 bis 2200) Å zu berechnen. Im Beitrag wird eine für die Dünnschichttechnologie sehr wichtige und aktuelle Aufgabe gelöst, nämlich die gleichzeitige kolorimetrische Prüfung der Dicke D und des Brechungsindex n für Schichten aus Siliziumnitrid (Si_3N_4).

Der Untersuchungsalgorithmus umfaßt:

- Messung von Mustern (mehr als 100 Stück) mittels Laserellipsometer mit im voraus bestimmten Werten D und n ,
- Feststellung der Abhängigkeiten „Farbe – Dicke“ und „Farbe-Brechungsindex“ (Bild 5),
- Berechnung der Parameter der mathematischen Modelle entsprechend Beziehung (12),
- Überprüfung der Modelle auf Adäquatheit mit dem Kriterium von Fisher,
- Berechnung der Fehler (welche 2 Prozent nicht überschreiten),
- Implementierung des Berechnungsprogramms auf einem Mikrorechner,
- Zusammenführen der Programme [7].

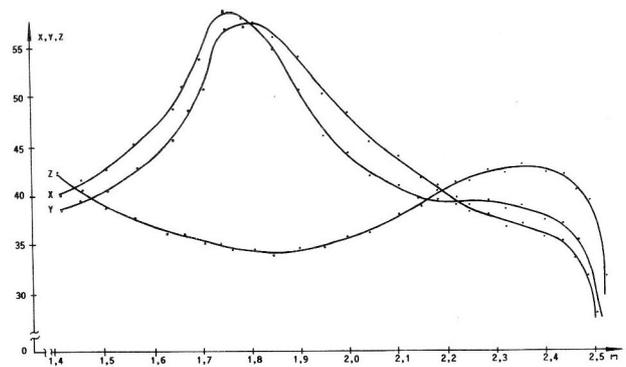


Bild 6
Abhängigkeit der Farbe von der Lichtbrechung eines polykristallinen Siliziumdünnschichtfilms

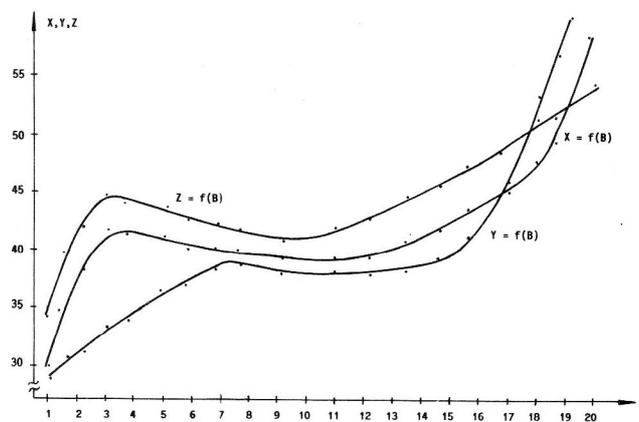


Bild 7
Abhängigkeit der Farbe von der Körnigkeit eines polykristallinen Siliziumdünnschichtfilms

Für die Zuverlässigkeit integrierter Schaltkreise spielt die Qualität des Auftrags der Aluminiumschichten auf den Träger eine große Rolle. Eine Information darüber sollte am Beginn des technologischen Prozesses vorhanden sein.

Die Qualität der Aluminiumschichten ist eine Funktion vieler Einflußgrößen: der Rauigkeit, der Körnigkeit, der Dicke, des Temperaturregimes des Aufbringens und der Spiegelung der Schicht. Die Messung dieser Einflußgrößen erfordert spezielle Geräte, was sehr ineffektiv ist. Andererseits korrelieren die genannten Einflußgrößen, die die Qualität der Aluminiumschichten bestimmen, sehr eng mit den kolorimetrischen Koordinaten.

Im folgenden wird eine Methodik der prognostischen Bewertung der genannten Einflußgrößen am Beginn des technologischen Prozesses vorgeschlagen. Diese Bewertung wird auf der Basis der mathematischen Modelle nach (12) durchgeführt. Die entwickelte Methodik gestattet, die Produktion von integrierten Schaltkreisen um etwa 4 Prozent zu erhöhen.

Eine weitere aktuelle Aufgabe der schnellen technologischen Prüfung besteht in der Bestimmung der Qualität der Schichten des polykristallinen Siliziums. Folgende Para-

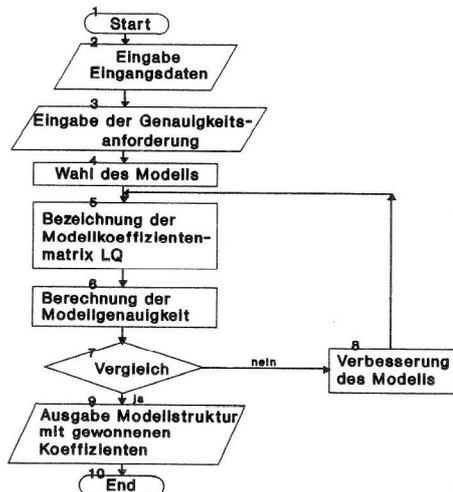


Bild 8
Programmablaufplan

meter charakterisieren die Qualität: die Dicke, der Brechungsindex und die Körnigkeit (Bild 6 und Bild 7). Die Meßmethode ist analog der bereits beschriebenen, jedoch wird hier ein dreiparametrisches Modell genutzt.

Bei der Produktion von integrierten Schaltkreisen werden außer dünnen auch „dicke“ (mehr als 4000 Å) Schichten angewendet. Diese Trennung ergibt sich aus dem unterschiedlichen Charakter der Interferenz in den Schichten. Bei dünnen Schichten hat die Interferenz monoextrimalen und bei dicken Schichten multiextrimalen Charakter. Das bedingt einen zusätzlichen Fehler.

Es folgt die Erarbeitung einer Methodik zur Erhöhung der Genauigkeit der kolorimetrischen Prüfung dicker Schichten ($D > 4000 \text{ Å}$). Diese Methodik nutzt die Interferenzgleichung (5).

Die experimentell ermittelte spektrale Charakteristik $\beta(\lambda)_{\text{exp}}$ des Musters wird mit der nach Gl. (5) theoretisch berechneten $\beta(\lambda)_{\text{th}}$ verglichen. Dabei wird in Gl. (5) anstelle D zunächst der mit der kolorimetrischen Methode berechnete Wert eingesetzt. Dabei wird D automatisch geändert bis folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n [\beta(\lambda)_{\text{th}} - \beta(\lambda)_{\text{exp}}]^2 \rightarrow \text{Min}, \quad (13)$$

worin γ der vorzuziehende Fehler ist. Die Berechnung der Werte von D wird solange durchgeführt, bis der gewünschte Fehler erreicht ist.

Das Ergebnis der vorgeschlagenen Methodik der kolorimetrischen Prüfung von Parametern des Dünnfilms besteht in einem System der automatischen Auswahl der zweckmäßigsten Modellform der Abhängigkeit „Farbe-Parameter“ des Dünnfilms. In einem Computer ist ein Softwaremodul implementiert, der einen Algorithmus realisiert, dessen Programmablaufplan im Bild 8 gezeigt wird.

Der über einen großen Zeitraum durchgeführte Industrieinsatz der Meßeinrichtung bestätigte die volle Funktionsfähigkeit unter den Bedingungen der Serienproduktion von Dünnfilmen. Der ökonomische Effekt der Praxisüberleitung der vorgestellten Prüfmethode bereits am Beginn des technologischen Prozesses ergibt sich aus folgendem:

- Durchführung einer technologischen Serienprüfung der serienmäßig produzierten Schaltkreise,
- Einsparung kostenintensiver Materialien,
- Verringerung des Arbeitsaufwandes und der Zeit für die Prüfung,
- Verringerung des Ausschusses.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Ergebnisse können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

1. Es wurden die Abhängigkeiten der Farbcharakteristika von den technologischen Parametern des Dünnfilms ermittelt, die die Qualität der Produktion von integrierten Schaltkreisen bestimmen.
2. Für die meisten technologischen Regimes wurden mathematische Modelle der Abhängigkeiten „Farbe – Parameter“ des Dünnfilms entwickelt und die günstigsten Varianten ausgewählt.
3. Entwickelt wurde eine Reihe kolorimetrischer Methoden der Prüfung der Parameter von Dünnfilmen, die eine gerätetechnische Prüfung der Erzeugnisse gestatten.
4. Ausgearbeitet wurde eine Methodik zur Erhöhung der Genauigkeit der kolorimetrischen Prüfung der Parameter „dicker“ ($D > 4000 \text{ Å}$) Dünnfilme auf der Basis ihrer spektralen Charakteristiken. Sie ermöglicht die Prüfung im gesamten erforderlichen Meßbereich.
5. Entwickelt wurden ein Algorithmus und die entsprechende Software für die automatische Auswahl der Modelle der Abhängigkeiten „Farbe – Parameter“ von Dünnfilmen. Sie vereinheitlichen die technologische Prüfung, verkürzen die Prüfzeit und verringern den organisatorischen Aufwand für die Messung.

Deutsche Übersetzung: Dr.-Ing. habil. G. Müller

LITERATUR

- [1] Тилл, У., Лаксон, Дж.: Интегральные схемы. Материалы, приборы, изготовление: Пер. с англ. / Под ред. М. В. Гальперина. М.: Мир. 1985. 504 с.
- [2] Быстров, Ю. А., Колчин, Е. А., Котлецов, Б. Н.: Технологический контроль размеров в микроэлектронном производстве. М.: Радио и связь. 1988. 168 с.
- [3] Комраков, Б. М., Шапочкин, Б. А.: Измерение параметров оптических покрытий. М.: Машиностроение. 1986. 136 с.
- [4] Джадд, Д., Вышецки, Г.: Цвет в науке и технике: Пер. с англ. М.: Мир. 1978. 592 с.
- [5] Физика тонких пленок (под. ред. Г. Хасса, Р. Э. Туна: Пер. с англ. М.: Мир. 1970, Т. 4, 440 с.
- [6] Соловьев, В. А.: Методы и приборы для измерения цветовых характеристик материалов // Измерения, контроль, автоматизация. 1987. Нр. 4 (64) 31–42 с.
- [7] Юсупбеков, Н. Р.: Мавлянкариев, Б. А., Остапчук, А. Н., Школьный, А. К., Мухамедханов, У. Т.: Приборная реализация цветометрического контроля качественных параметров в микроэлектронике // Приборы и системы управления. 1986. Нр. 10. 28–30 с.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. U. Muchamedchanow
Technische Universität Taschkent
Lehrstuhl für Fertigungsprozessautomatisierung
700095 Taschkent, Usbekistan
z. Z. Institut für Automatisierungstechnik
Technische Universität „Otto von Guericke“ Magdeburg