

Halbleiterabstimmmanzeiger (Magisches Auge) für Transistorschaltungen

A.A. KALNIN,
W.W. PASSYNKOW,
Ju. M. TAIROW,
D.A. JASKOW

Mitteilung aus dem
Leningrader Elektrotechnischen Institut
„W. I. Ulijanow“ (Lenin)

Bereits heute werden Leuchtdioden mit einer Emission im sichtbaren Spektralbereich bei Verwendung von Halbleitermaterial mit breiter verbotener Zone (z. B. SiC oder GaP) hergestellt. Diese Bauelemente haben bei Stromdichten um $0,05 \text{ A/cm}^2$ und Spannungen von $2 \dots 3 \text{ V}$ eine Leuchtdichte von $30 \dots 50 \text{ nt/l}$ aufzuweisen [2] [3].

Bild 1a illustriert das **Aussteuerprinzip** durch Veränderung der Leuchtfäche des lumineszierenden pn-Überganges. In einem rechteckigen Kristallplättchen eines Breitbandhalbleiters wurde ein pn-Übergang hergestellt, und nun sei an diesen eine Gleichspannung U angelegt. Der Übergang soll mit Hilfe der Kontakte 1 und 2 in Durchlaßrichtung geschaltet sein. Die n-leitende Kristallschicht ist niederohmig und wird daher als spannungsgleich angenommen. Auf die verhältnismäßig hochohmige p-leitende Kristallschicht wird eine dünne Halbleiterschicht aufgedampft. Gegenüber der Speiseelektrode 1 wird auf dieser Schicht eine Steuerelektrode 3 angeordnet.

Bei Stromfluß durch die Kontakte 1–2 beginnt der pn-Übergang auf der gesamten Fläche homogen zu leuchten. Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Kontakte 2–3 fließt, entsteht entlang der halbleitenden Schicht ein Spannungsgefälle. Aus diesem Grunde ist für einen Teil des pn-Überganges die Gesamtspannung kleiner als die Knickspannung (Bild 1b), und folglich kann dieser Teil nicht leuchten. Eine kontinuierliche Veränderung des Steuerstroms bewirkt somit eine entsprechende Verschiebung der Grenze zwischen leuchtendem und nichtleuchtendem Feld des Kristalls, Bild 2a. Der pn-Übergang leuchtet auf der ganzen Fläche, wenn der Steuerstrom $I_{st} = 0$ ist. Wird dieser dagegen stetig vergrößert $I_{st}' \leq I_{st} \leq I_{st}''$, so nimmt die nichtleuchtende Fläche zu und nähert sich den Speiseelektroden der Diode.

Die **Kontrastschärfe** der Grenze zwischen

Moderne transistorisierte radiotechnische Geräte benötigen Bauelemente, die auch eine visuell wahrnehmbare Informationsanzeige gestatten. Herkömmliche Abstimmmanzeiger (z. B. Magische Augen vom Typ 6 EIP oder EM 80) können in Halbleiterschaltkreisen nicht zur Anwendung kommen, da deren technische Daten nicht den Erfordernissen moderner Transistorschaltungen entsprechen. Ihre entscheidenden Nachteile sind hohe Betriebsspannungen und hohe Leistungsaufnahme, große Abmessungen und relativ geringe Lebensdauer. In einigen elektrotechnischen Schaltkreisen wird die Funktion einer Abstimmmanzeige von Miniaturamperemetern übernommen. In anderen Transistorschaltungen erfolgt die Sichtindikation mittels Elektrolumineszenzdioden, in denen unter anderem das zu fixierende Signalniveau eine Funktion der Leuchtstärke ist. Alle diese Bauelemente konnten jedoch auf Grund dieser oder jener Mängel keine breite Anwendung in der Elektronik finden, so daß zur Zeit neben dem Röhrentyp „Magisches Auge“ entsprechende Halbleiterabstimmmanzeigen noch nicht existieren.

Eine objektive Einschätzung des Signalniveaus kann man mit einer Elektrolumineszenzdiodenstruktur vornehmen, wenn die Änderung des Signalniveaus mit der Verschiebung der Leuchtfächengrenzen des Abstimmmanzeigers verbunden wird [1].

dunklem und hellem Feld ist anfangs gering und steigt an mit zunehmender Verschiebung der Grenze zur Koordinate $X=0$ hin. Um eine gleichmäßig hohe Kontrastschärfe der Grenze zu gewährleisten, muß der Spannungsabfall auf der X-Koordinate eine konstante Steilheit (bzw. konstante Ableitung) bei beliebiger Koordinate X_{gr} haben. (Das wäre nicht

hierbei ist $r_0 \cdot a^{X/L}$ der Widerstand der Schicht bis zur Koordinate X . Im Stromdichtebereich von $0,1 \dots 2 \text{ A/cm}^2$ wird der Leuchtdiodenstrom durch den ohmschen Bahn- und Kontaktwiderstand begrenzt. Daher kann die Strom-Spannungskennlinie annähernd durch folgende Abhängigkeit dargestellt werden:

$$j = k U - b \quad (2)$$

Setzt man voraus, daß die Leuchtdichte (B) von der Stromdichte linear abhängt, so kann die Kontrastschärfe der Feldergrenzen (also die Koordinatenauflösung) wie folgt dargestellt werden:

$$\Theta = \frac{L_0}{B_0} \cdot \frac{dB}{dX} = \frac{k I_{st} r_0}{j_0} a^{X/L_{lna}} \quad (3)$$

Dabei ist

B_0 – Leuchtdichte des lumineszierenden pn-Überganges bei $I_{st} = 0$,
 j_0 – Stromdichte, der Helligkeit B_0 entsprechend,
 L_0 – Länge des lumineszierenden pn-Überganges.

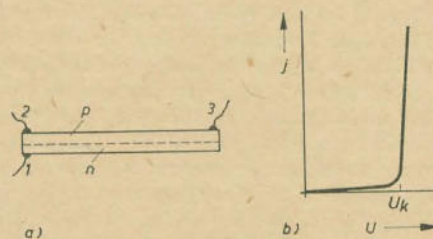


Bild 1: a) Einfachstes Modell eines Abstimmmanzeigers zur Veranschaulichung seiner Wirkungsweise
b) Strom-Spannungskennlinie eines lumineszierenden pn-Überganges

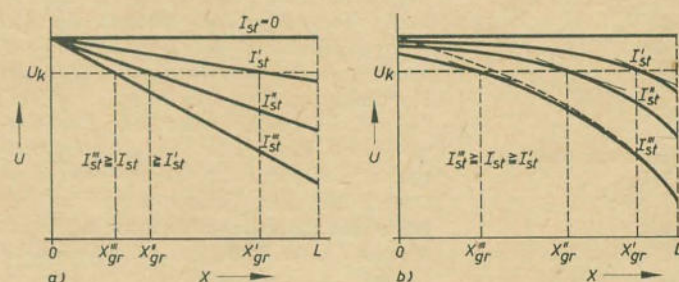


Bild 2: Spannungsverteilung entlang der halbleitenden Schicht des Spannungsteilers
a) lineare Widerstandsverteilung
b) exponentielle Widerstandsverteilung

der Fall bei einer homogenen Widerstandsverteilung auf der aufgedampften Schicht, weil dann der Spannungsabfall eine lineare Funktion der X-Koordinate wäre.) Eine gute Kontrastschärfe kann folglich erreicht werden, wenn der Widerstand der aufgedampften Schicht mit zunehmender Koordinate X annähernd exponentiell ansteigt:

$$U(X) = I_{st} \cdot r_0 \cdot a^{X/L} \quad (1)$$

In dem der Feldergrenze entsprechenden Punkt (X_{gr}) wird die Spannung am pn-Übergang gleich U_k , d. h.

$$U_k = I_{st} \cdot r_0 \cdot a^{X_{gr}/L} \quad (4)$$

Durch Einsetzen von (4) in (3) erhält man eine Beziehung, aus welcher folgt, daß die Kontrastschärfe nicht von der X-Koordinate der Feldergrenze abhängt:

$$\Theta_{X=X_{gr}} = k j_0 U_k \ln a \quad (5)$$

¹⁾ nt-Nit, $1 \text{ cd/m}^2 = 1 \text{ nt}$ (cd = Lichtstärke in Candela)

Aus Bild 2b ist ersichtlich, daß die Ableitungen von

$$\left. \frac{dU(X)}{dX} \right|_{X=X_{gr}}$$

beim Durchlaufen der Leuchtcoordinate des Bereiches von 0 bis L konstant bleibt. Der Nullspannungsabfall $U(0)$ (Bild 2b) wird durch Reihenschaltung eines Widerstandes r_0 zum Spannungsteiler (halbleitende Schicht) vorgewählt. Ohne diesen Widerstand erhöht sich die Kontrastschärfe etwas in Richtung nach $X=0$. Der Potentialverlauf am Spannungsteiler für diesen Fall wird in Bild 2b durch die punktierte Linie dargestellt.

Zur Verbesserung der Kontrastschärfe der Feldergrenzen in der Nähe der Steuerelektrode gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Veränderung des spezifischen Widerstandes des Materials der halbleitenden Schicht,
- Dickenveränderung der aufgedampften Elektrodenschicht,
- Verbreiterung der Elektrodenschicht mit zunehmender Entfernung von der Steuerelektrode.

Zur Herstellung aktiver Elemente für Abstimmmanzeiger wurden pn-Übergänge auf Siliziumkarbidbasis (SiC) verwendet. Dazu wurde in stickstofflegiertes SiC Bor eindiffundiert [4]. Auf das p-Gebiet des SiC-Kristalls wurde eine dünne Zinn-dioxidschicht (SnO_2) nach dem Pyrolyseverfahren aus $SnCl_2$ -Dämpfen aufgetragen [5] [6]. Die Herstellung der SnO_2 -Schicht mit vorgegebenem Verteilungsgesetz des spezifischen Widerstandes entlang des Kristalls wurde mittels spezieller, in den laminaren Dampfstrom des $SnCl_2$ eingefügter Abschirmungen vorgenommen. Die dünnen Schichten besaßen gute Adhäsion zur SiC-Oberfläche, hohe mechanische Festigkeit und ausreichende Stabilität der Parameter bei Betrieb ohne luftdichte Verkapselung.

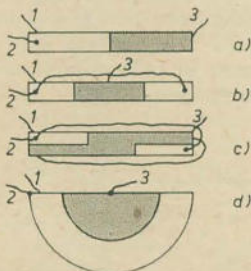


Bild 3: Abstimmmanzeiger mit verschieden ausgebildetem Leuchtfeld

Die ohmschen Kontakte zur halbleitenden Schicht wurden durch Einbrennen einer Silberpaste und zum n-Gebiet des Kristalls durch Einschmelzen eines Elektrodenmaterials aus einer Gold-Thallium-Komposition im Verhältnis 1:1 hergestellt. Je nach den an die Anzeigevorrichtung gestellten Anforderungen können die Abstimmmanzeiger mit verschiedenen geometrischen Formen des Leuchtfeldes hergestellt werden. Bild 3 zeigt verschiedene Muster des Abstimmmanzeigers, die am Lehrstuhl für Halbleiter und Dielektrika des Leningrader Elektrotechnischen-UIjanow-(Lenin)-Instituts entwickelt wurden.

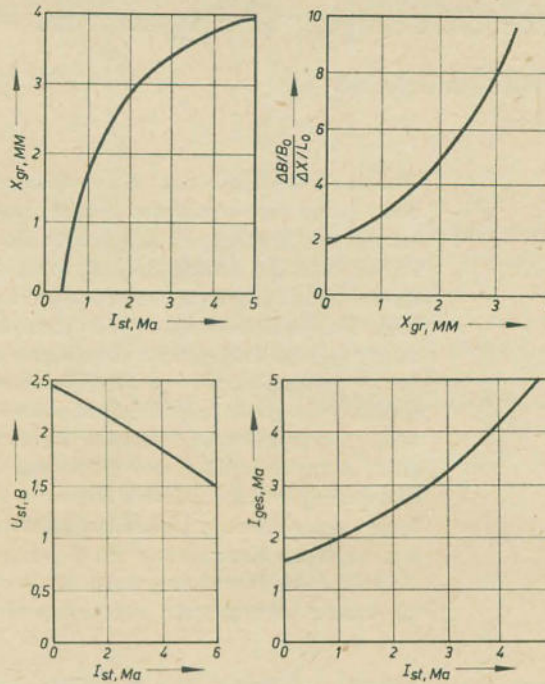


Bild 4: Optische Kennlinien des Abstimmmanzeigers

- Abhängigkeit der Leuchtcoordinate vom Steuerstrom
- Abhängigkeit der Kontrastschärfe von der Leuchtcoordinate

Bild 5: Elektrische Kennlinien des Abstimmmanzeigers

- Eingangskennlinie
- Übergangskennlinie

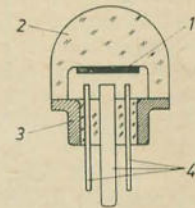


Bild 6: Aufbau des Abstimmmanzeigers

- Elektrolumineszenzkristall mit Kontakten und Ausföhrungen
- Glaslinse
- Transistorsockel mit Anschlüssen

Die Modelle A und B sind vorteilhaft in Geräten anwendbar, in denen die Abstimmung des Systems auf einen Extremwert des Signals erforderlich ist. Im Gegensatz zum Modell A, bei dem die Steuerelektrode an einem Ende der halbleitenden Schicht angeordnet ist, befindet sich diese beim Modell B („Magisches Auge“) in der Mitte. Dementsprechend führt eine Vergrößerung des Steuerstroms zur Verschiebung der Feldergrenzen nach rechts (Modell A) oder symmetrisch zur Steuerelektrode in Richtung zu den Speisekontakten (Modell B). Zur Fixierung eines vorgegebenen Signalniveaus ist das Modell B zu empfehlen. Diese Variante ist praktisch die Kombination zweier Abstimmmanzeiger vom Typ A, die in Gegenrichtung geschaltet sind. Diese Anordnung wird auf einem einzigen Kristall ausgeföhrt. Die Trennung des oberen und unteren Gebietes (1 und 2) wird durch einen schmalen Längseinschnitt vorgenommen, der die Diffusionstiefe ein wenig übersteigt. Der Moment des Zusammenschließens der Leuchtfelder entspricht dann dem vorgegebenen Wert des Signalniveaus. Das Leuchtfeld des Modells C ist achsensymmetrisch. Der Vorteil eines Ring- oder Sektorabstimmmanzeigers besteht in seiner erhöhten Kontrastschärfe der Feldergrenzen in der Nähe der Steuerelektrode auch beim Aufdampfen einer homogenen halbleitenden Schicht.

Die aus dem Anstieg des geradlinigen Kennlinienteils bestimmte Stromempfindlichkeit „Leuchtcoordinate-Steuerstrom“ (Bild 4a) beträgt etwa 1,5 mm/mA bei einer Länge des aktiven Elementes von $L_0 = 4$ mm und einer Nullstromdichte von $j_0 = 0,05$ A/cm². Hierzu ist zu bemerken, daß die Empfindlichkeit in bedeutendem Maße durch die Effektivität des lumineszierenden pn-Überganges bestimmt wird. Der Einsatz von pn-Übergängen mit geringer Nullstromdichte j_0 gestattet die Verwendung einer halbleitenden Schicht

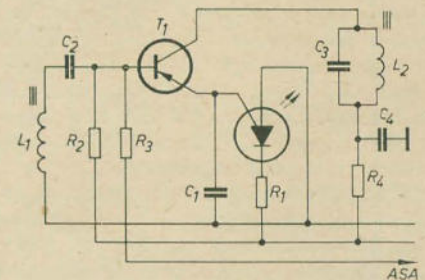


Bild 7: Schaltungsbeispiel zum Einbau des „Magischen Auges“ in die Stufe der automatischen Schwundregelung

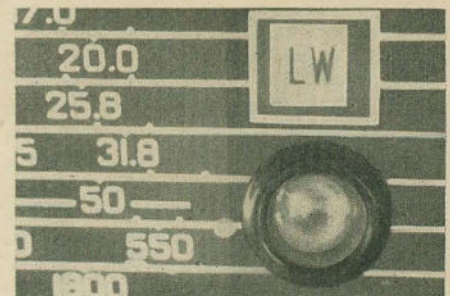


Bild 8: Fotografie des Halbleiterabstimmmanzeigers (Modell B „Magisches Auge“)

mit entsprechend hohem spezifischen Widerstand ohne merklichen Leuchtdichteabfall entlang des Kristalls bei $I_{st} = 0$. Für SiC-pn-Übergänge mit etwa 20 nt Leuchtdichte bei etwa $0,05 \text{ A/cm}^2$ beträgt der optimale Gesamtwiderstand der halbleitenden Schicht 300 bis 500 Ω .

Die Kontrastschärfe der Feldergrenzen ist abhängig von der Grenzkoordinate und besitzt einen Maximalwert bei $X = 0$ (Bild 4). Labormuster des Abstimmanzeigers, welche aus Kristallen mit inhomogener Widerstandsverteilung der SnO_2 -Schicht angefertigt wurden, besaßen gut erkennbare Leuchtfeldgrenzen bei $X = L$ und wesentlich höhere Beständigkeit der Kontrastschärfe bei Koordinatenänderung in dem Falle, wenn die Steuerelektrode auf dem hochohmigen Teil der halbleitenden Schicht angebracht wurde.

Bild 5a und 5b zeigen zwei Betriebskennlinien des Bauelementes, die Kennlinie $I_{st} = f(U_{st})$ und die Kennlinie $I_{ges} = f(I_{st})$. Durch die Abnahme des Stromes durch den pn-Übergang wächst der

Gesamtstrom im Anfangsbereich der Kennlinie nur unbedeutend.

Bild 6 zeigt ein Entwicklungsmuster des Abstimmanzeigers. Ein Schaltungsbeispiel zum Einbau des „Magischen Auges“ in die Stufe des automatischen Schwundausgleiches eines Transistorempfängers ist aus Bild 7 zu ersehen. In dieser Schaltung wird die Rückkopplungswirkung der ASA-Stufe als Gleichstromverstärker des Detektors ausgenutzt. Der Nennstrom durch den lumineszierenden pn-Übergang (1–3 mA) wird durch die Größe des Widerstandes R_1 bestimmt. Die halbleitende Schicht (Spannungsteiler) wird in die Unterbrechung des Emittierkreises eingeschaltet. Der maximale Steuerstrom ist abhängig von der Wahl des Vorspannungswiderstandes R_2 . Der Kondensator C_1 dient zur HF-Entkopplung.

Bild 8 zeigt die Fotografien eines Labormusters des optischen Abstimmanzeigers bei minimalem und maximalem Steuerstrom. Die im Leningrader Elektrotechnischen Uljanow-(Lenin)-Institut entwickel-

ten SiC-Abstimmanzeiger haben folgende technische Daten:

Betriebsspannung	3...3,5 V
Stromaufnahme bei $I_{st} = 0$	1...5 mA
max. Steuerstrom	1...5 mA
Stromempfindlichkeit	0,5...1,5 mm/mA
Fläche des aktiven Elementes (Vergrößerungslinse nicht gerechnet)	$4 \times 1 \text{ mm}^2$

Literatur

- [1] Богородицкий, Н. П.; Кальнин, А. А.; Тан-ров, Ю. М.; Яськов, Д. А.: Авт. свид. № 192959 от 29 декабря 1966 г.
- [2] Холуянов Г. Ф.; Низковольтные электролюминесцентные индикаторы для транзисторных схем. Изд. ЛДНТП, 1964 г.
- [3] White, H. G.; Trumbore, F. A.: Appl. Phys. Letters, 10, (1967), Nr. 7, 206
- [4] Виолин, Э. Е.; Холуянов, Г. Ф.; ФТТ, № 6, 1964 г.
- [5] Крыжановский, Б. П.; ЖЭТФ, 28, 1489, 1958 г.
- [6] Кузнецов, А. Я.; Крыжановский, Б. П.; Круглова, А. В.: Оптико-механическая промышленность, 1, (1957 г.)

Fortsetzung von Seite 428

Ein modernes Oszillografensystem mit Wechseleinschüben

Setzt man durch geeignete Steuerung der Abtastung die Signale der Samplingeinschübe auf die Verhältnisse dieses AD-Systems um – dies sind im einzelnen Forderungen an die Folgefrequenz und Zeitdauer der Kurzzeitspeicher und Stufenpotentiale, Anpassung der Signalpegel, Abgabe von Steuerimpulsen, Festlegung von Impedanzen, Steckverbindungen und Gehäuseformen –, so wird schließlich auch der zweite Weg der Kombination von Geräten verschiedener Produzenten möglich, der durch das Angebot eines Code-Umsetzers BDU 101 auf die vom VEB Funkwerk Erfurt angebotenen Geräte, wie Zählbetragsdrucker, Streifenlocher usw., erweitert wird und auf diese Weise noch die Dauerspeicherung und Dokumentation bei gleichzeitiger Rückumwandlungsmöglichkeit sicherstellt (Bild 6).

Während für technische Berechnungen komplette Zeitfunktionen über den AD-Umsetzer abgefragt werden können, genügt zur Entscheidungsfindung z. B. beim Sortieren von Schaltdioden und Schalttransistoren nach Schalt- und Speicherzeiten oder beim Sortieren von Digitalbausteinen nach der Verzögerungszeit ein mit einer bestimmten Zeitadresse verbundener Funktionswert, wobei die Adresse am Digitalspeicher vorgewählt werden kann.

Spektraldarstellung am Oszillografenschirm

Eine andere Entwicklungsrichtung in der Oszillografenmeßtechnik ist die Spektral-

analyse. So wie beim Samplingprinzip die periodische Eingangszeitfunktion Schritt für Schritt von den Zeitintervallen des Abtastimpulses abgefühlt wird, erfaßt beim Suchtonverfahren nach der Eingangsüberlagerung mit einer Gleitfrequenz das schmalbandige Filter im Verlauf der Periode der Gleitmodulation kleine Frequenzintervalle der Mischfrequenzen und führt damit am Schirm eine Fourieranalyse des Eingangssignals durch. Beide äquivalente Verfahren haben im Spektrum der Wechseleinschübe führen-

der Oszillografenfirmen einen breiten Raum eingenommen.

Bei der Spektralanalyse genügt der Austausch des Y-Verstärkers gegen einen Spezialeinschub und die Verwendung des vorhandenen Sägezahngenerators zur X-Auslenkung und Modulation (Bild 7).

Der Sägezahnanstieg ist an die zulässige Analysiergeschwindigkeit anzupassen, die vom Frequenzhub und insbesondere bei schmalbandigen Quarzfiltern von der Filterbandbreite abhängig ist.

Lineare und logarithmische Anzeige und Eichung über Normalspannungen oder Rechteckwellen verbessern die Amplitudenauswertung solcher Einschübe. Gegenüber einem kompletten Spektrometer stellt ein einfacher Wechseleinschub eine preiswerte Ergänzung des Oszillografen dar, der es u. a. gestattet, Zeitmessungen, die auf Grund der Linearitäten und Ablese-

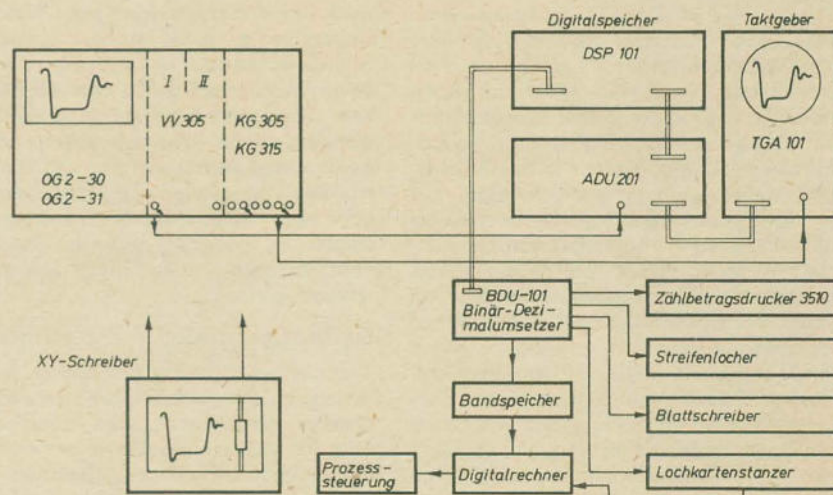


Bild 6: Digitalauswertung am Samplingoszillografen