

GaAs Gunn-diódák küszöbáramának és feszültségének hőmérsékletfüggése

ETO 537.58:546.681'19:621.382.2.012

Galliumarzenidben az elektronok driftsebessége egy kritikus térerősség felett (kb. 3,3 kV/cm szobahőmérsékleten) a térerősség növelésekor csökken, és a driftsebesség — térerősség összefüggés, $v(E)$, negatív meredekségű szakasszal rendelkezik. Ezt a jelenséget az okozza, hogy a nagy elektromos tér hatására az elektronok a kis effektív tömeggel és így nagy elektronmozgékonyossággal jellemzett állapotokból nagy effektív tömeggel és így alacsony mozgékonyossággal jellemezhető állapotokba mennek át. Ezen a jelenségen alapul a Gunn-diódák működése, mely diódák áram — feszültség karakterisztikájában egy küszöbfeszültség felett negatív ellenállással rendelkezik. A diódának a negatív ellenállású szakasz kezdetéhez tartozó V_k küszöbfeszültsége a küszöbtérrő, E_k , és az aktív réteg vastagságának, d , szorzata $V_k = d \cdot E_k$. Bár az eszköz $I(V)$ karakterisztikáját lényegében a $v(E)$ függvény határozza meg, az áram — feszültség karakterisztika csak a küszöbfeszültség alatt követi pontosan a driftsebesség — térerősség összefüggés alakját. A küszöbfeszültség felett a kialakuló domének hatása miatt (és az esetleg meglévő soros kontaktus-ellenállás miatt) az $I(V)$ jelleggörbe alakja már csak közvetve tükrözi a $v(E)$ összefüggést.

A $v(E)$ összefüggés mérés útján való meghatározása nagy jelentőséggel bír. A driftsebességnek a térerősség függvényében való közvetlen mérése azonban bonyolult feladat. Ugyanis a nagy vezetőképességű kristályban a küszöbtérrő feletti elektromos terekben instabilitások lépnek fel, míg az alacsony vezetőképességű kristályokban a térerősség eloszlása inhomogénné válik [1]. Az irodalomban különféle mérési eljárások kerültek leírásra [1, 2], melyek legtöbbször különleges kísérleti-mérési technikát igényel, és ugyanakkor a valódi Gunn-diódától eltérő kialakítású mintát igényelnek. Azonban lehetőség nyílik a $v(E)$ jelleggörbe küszöbtér alatti szakaszának és a küszöbtérnek, illetve az elektronok csúcsebességének (E_k , illetve v_m) meghatározására kész Gunn-diódákon izotermálisan, (impulzusüzemben) végzett áram — fe-

szültség karakterisztikák mérésével. Ennek az a feltétele, hogy olyan Gunn-dióda álljon rendelkezésre, melyben a kontaktusok és egyéb járulékos jelenségek hatása elhanyagolható legyen.

Jelen dolgozatunkban Gunn-diódák küszöbfeszültségének és csúcáramának széles hőmérsékleti tartományban való mérése eredményeiről számolunk be [3]. A küszöbfeszültség és a csúcáramból meghatároztuk a v_m és E_k értékeket. A dióda aktív rétegében mért elektronmozgékonyosság ismeretében a $v(E)$ -re vonatkozó Krömer-féle interpolációs képlet [4, 5] alapján a teljes $v(E)$ görbe megadható közelítőleg.

A méréseket -100 °C és $+70$ °C hőmérsékleti tartományban végeztük az általunk készített C-sávú Gunn-diódákon. Az n^+ - n epitaxiás szerkezetek n -típusú aktív rétegének névleges adatai a következők: vastagság $12 \mu\text{m}$, elektronkoncentráció $(1,5 - 2) \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$.

A kész, tokozott eszközökön megmértük az $I(V)$ karakterisztika kezdeti meredekségét (R_0), az aktív rétegbeli elektronmozgékonyosságot (a geometriai mágneses ellenállás-változás mérésével [6, 7]). A szobahőmérsékleten mért adatokat az 1. táblázat foglalja össze. A küszöbfeszültséget és csúcáramot impulzusüzemben mértük, $2 - 5 \mu\text{sec}$ impulzusszélességgel, tipikusan 1kHz ismétlődési frekvenciával. Az alacsony kitöltési tényező révén megakadályoztuk a dióda aktív rétegének melegedését. A szobahőmérsékleten mért adatokat az 1. táblázat tartalmazza, a mért paraméterek hőmérsékletfüggését a -100 °C és $+70$ °C közötti hőmérséklet-tartományban az 1. és 2. ábra mutatja. A méréseket nem lehetett -100 °C alá kiterjeszteni, mivel a tokozott diódák tönkrementek (mert a tok anyagának és a GaAs-nek a hőtágulási együtthatója eltérő). Egyébként tokozatlan diódamorzsnán az $I(V)$ karakterisztika még 77K (-196 °C) hőmérsékleten is mérhető volt. Az 1. ábrán bemutatjuk még egy irodalmi mérés eredményeit [8], mely planáris Gunn-diódákra vonatkozik.

A mérésnél használt diódák kontaktus-ellenállása legfeljebb $2 - 3\%$ -a a dióda teljes ellenállásának, így

Beérkezett: 1976. XII. 16.

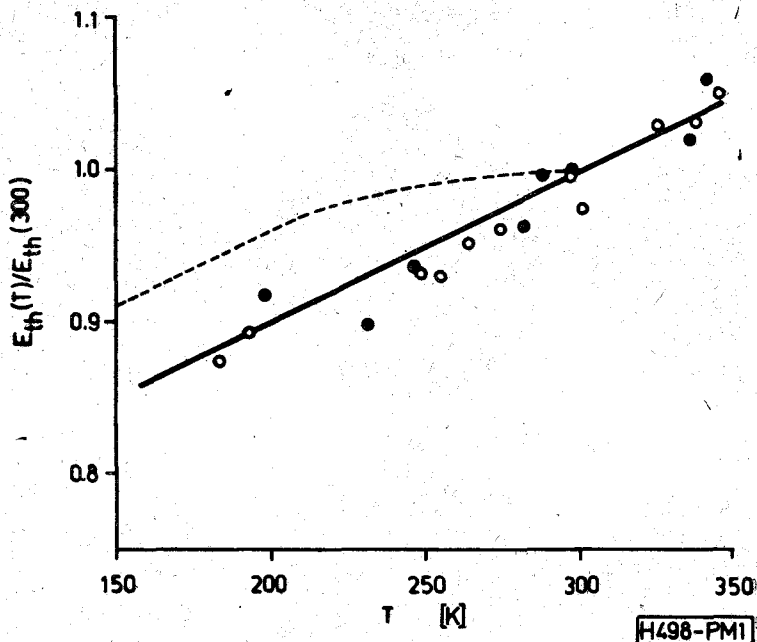
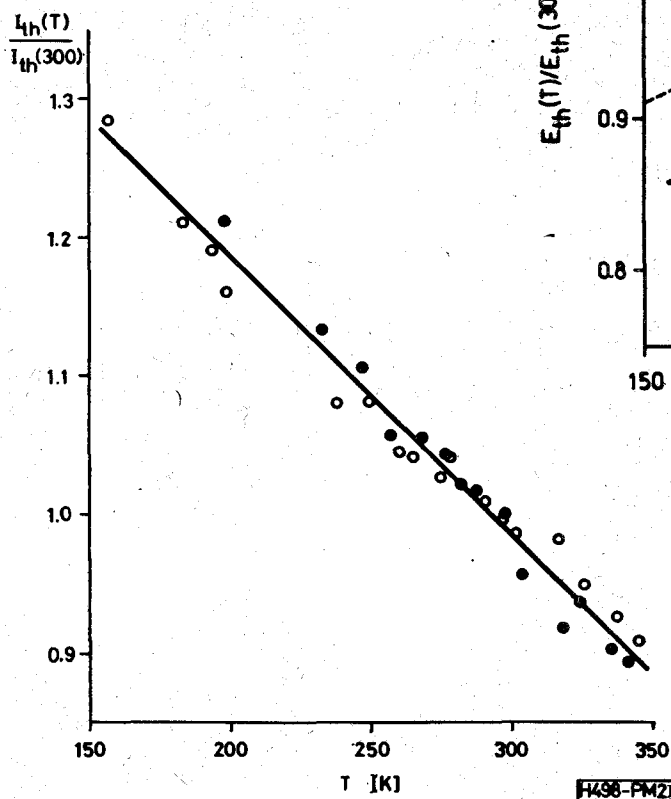
Szobahőmérsékleten (24 °C) mért paraméterértékek

1. táblázat

Dióda	Kezdeti ellenállás $R_0(\Omega)$	$\mu_0(\text{cm}^2/\text{Vs})$	$I_{\text{csúcs}}(\text{mA})$	$D_{\text{név}}(\mu\text{m})$	$v_m(\text{cm/sec})$	$E_k(\text{kV/cm})$	n	$v_s(\text{cm/sec})$	$E_0(\text{kV/cm})$
1	13,8	5530	169	80	$1,24 \times 10^7$	3,3*	3,1	$9 \times 10^{6**}$	2,8
2	9,9	7080	186	80	$1,57 \times 10^7$	3,3*	3,1	$9 \times 10^{6**}$	3,2

* Irodalmi adat, ** irodalmi adat

1. ábra. A küszöbfeszültség relatív értéke a hőmérséklet függvényében. ○, ● — két diódán mért értékek, szaggatott vonal — a [8]-ban közölt planáris Gunn-diódán mért $E_{th}(T)/E_{th}(300\text{ K})$ értékek



2. ábra. A küszöbáram relatív értéke a hőmérséklet függvényében. ○, ● — két diódán mért értékek

a I_{cs} és U_k értékek az aktív n-típusú rétegre vonatkoznak. Így az I_{cs} és U_k mért értékeiből jogosan számítható ki a v_m elektron-csúcssebesség és E_k küszöbtérerő (1. táblázat).

Mérési eredményeink szerint a küszöbfeszültség a hőmérséklet növekedésével nőtt, míg a csúcsáram csökkent, a változások mértéke 8,5%/100 °C, illetve 36%/100 °C.

Az $I(V)$ karakterisztikák hőmérsékletfüggése, különösen a küszöbfeszültség kismértékű növekedése és a csúcsáram erős csökkenése jól egyezik az elektronok $v(E)$ karakterisztikájára vonatkozó mérési adatokkal [9, 10, 11, 12], illetve elméleti számítások eredményeivel [10]. Ruch és Fawcett [10] számításai szerint a küszöbtérerősség kismértékben függ a hőmérséklettől 3,1 kV/cm-ről 3,5 kV/cm-re nő 77 K-tól 500 K-ig. Ez kb. 4%/100 °C változásnak felel meg szobahőmérséklet környezetében, ezzel mérési eredményeink elfogadható egyezésben vannak. A számítások szerint [10], az elektronok csúcssebessége csökkenésének mértéke szobahőmérséklet körül 30%/100 °C. Mért értékeink a fenti elméleti eredménnyel jó egyezést mutatnak.

Az elektronok csúcssebessége hőmérsékletfüggésére vonatkozó irodalmi mérési adatok meglehetősen nagy szórást mutatnak. Ruch és Kino [9] mérései szerint 293 és 210 K között az elektronok csúcssebessége 17%/100 °C mértékben nő, ugyanakkor

Bostock és Walsh [12] szobahőmérséklet felett ennél jóval kisebb változást tapasztalt, ugyanakkor Inoue és munkatársai [11] mikrohullámú abszorpciós technikával végzett mérései szerint a 300 és 200 K között az elektronok csúcssebességének növekedése 39%/100 °C, mely igen jó egyezésben van az általunk mért értékekkel. Az 1. táblázat szerint szobahőmérsékleten (24 °C) az elektronok csúcssebessége $(1,2 - 1,6) \times 10^7$ cm/sec, jó egyezésben a mikrohullámú abszorpciós technikával nyert $(1,3 - 1,6) \times 10^7$ cm/sec értékekkel [11, 12].

A $v(E)$ jelleggörbe kezdeti meredekségének (μ_0) és a csúcssebességnek, valamint a kritikus térerőnek (v_m, E_k) ismeretében, közelítőleg az egész $v(E)$ karakterisztika megadható. A Kroemer által javasolt interpolációs formula szerint [4, 5, 1]

$$v(E) = \frac{\mu_0 E + v_s (E/E_0)^n}{1 + (E/E_0)^n}$$

ahol v_s a telítési sebesség, és E_0 egy normalási tér, mellyel a küszöbtér értéke állítható be. μ_0 értéke közvetlenül adódott a mérésekből, míg az n kitevő értéke abból a feltételből határozható meg, hogy a $v(E)$ maximuma éppen v_m legyen. E_0 -al a kritikus térerősség, míg v_s -sel a telítési elektronsebesség értéke rögzíthető.

Könnyen belátható, hogy az n kitevőt a következő összefüggés adja:

$$n = \frac{1}{1 - \frac{v_m}{\mu_0 E_k}}$$

Mérési adataink alapján kiszámított n értékeket az 1. táblázat tartalmazza.

A v_s értékét szobahőmérsékleten 9×10^6 cm/sec-nak véve [13], E_0 értékére kb. 3 kV/cm adódik (l. 1. táblázat). Az így nyert paraméterek jól egyeznek az irodalomban megadott értékekkel.

Megjegyezzük, hogy a $v(E)$ görbe fenti, analitikus közelítését a kísérleti eredmények leírásán kívül számítógépes eszközszimulációknál alkalmazzák [5].

I R O D A L O M

- [1] V. E. Riginos: Nonsaturating velocity-field characteristic of gallium arsenide experimentally determined from domain measurements, *J. Appl. Phys.* 45, 2918—22, 1974.
- [2] J. Pokorný, Fr. Jelinek: Měření našívých rychlostí elektronů v GaAs, *Elektrotechnický časopis* 23, 338—55, 1972.
- [3] I. Mojzes, B. Pődör, I. Balogh: On the temperature dependence of the threshold current and voltage of GaAs Gunn-diodes, *phys. stat. sol. (a)*, publikáció alatt.
- [4] H. Kroemer: Non-linear space-charge domain dynamics in a semiconductor with negative differential mobility, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED—13, 4—21, 1966.

- [5] H. Kroemer: Gunn effect — bulk instabilities, *Topics in Solid State and Quantum Electronics*, Ed. W. D. Hershberger, Wiley, New York, 1972, pp. 20—98.
- [6] András Andorné, Barna Árpád, Barna B. Péter, Beleznay Ferenc, Mojzes Imre, Pődör Bálint, Sebestyén Tibor, Stark Gyula, Szentpáli Béla, Szép Iván: GaAs Gunn-diódák a 7—9 GHz frekvenciasávra, *Híradástechnika*, 28, 42—49 1977.
- [7] I. Mojzes, B. Szentpáli, I. Bertóti, B. Pődör: Measurement of electron concentration of $n-n^+$ epitaxial layers grown for Gunn-diodes, *Proceedings of the 5th Colloquium on Microwave Communication, Budapest, June 24—30, 1974*. Akadémiai Kiadó, 5. kötet, p. 233—240.
- [8] G. P. Srivastava, P. C. Mathar, M. L. Goyai, S. K. Tripathi S. K. Lomash, A. K. Dhali: The temperature variation of low field electron mobility in n-GaAs, *Phys. Lett.* 42A, 421—22, 1974.
- [9] J. G. Ruch, G. S. Kino: Transport properties of GaAs, *Phys. Rev.* 174, 921—31, 1968.
- [10] J. G. Ruch, W. Fawcett: Temperature dependence of the transport properties of GaAs determined by a Monte Carlo method, *J. Appl. Phys.* 41, 3843—38, 1970.
- [11] M. Inoue, Y. Nakade, J. Shirafuji, Y. Inuishi: Temperature dependence of the velocity field characteristics of n-type gallium arsenide, *Jap. J. Appl. Phys.* 10, 818—19, 1971.
- [12] P. A. Bostock, D. Walsh: Variation of velocity field curve of GaAs in the temperature range 40—180 °C, *Electron. Lett.* 5, 623—24, 1969.
- [13] S. M. Sze, R. M. Ryder: Microwave avalanche diodes, *Proc. IEEE* 59, 1140—1154, 1971.