

Si—SiC, $p-n$ HETEROÁTMENETEK

LUKÁCS JÓZSEF,

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET, FÉLVEZETŐ LABORATÓRIUM

[Beérkezett 1965. augusztus 11-én]

A tanulmány a Si—SiC, $p-n$ heterokötések létrehozásának lehetőségeit vizsgálja, és ismerteti a heteroátmenetek energiasáv-diagramjának felvételére végzett kísérleteket. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Si—SiC heterokötésben az $n-n^+$ átmenettel érhető el a legkedvezőbb egyenirányító karakterisztika.

I. Bevezetés

Régebbi, vonatkozó munkáink [1—3] polikristályos, nemlineáris ellenállásokban alkalmazott szilíciumkarbidra vonatkoztak. E munkák során két lényeges szempont érvényesült: törekedtünk egyrészt az ellenállások nemlinearitásának javítására, másrészt termikus szilárdságuk fokozására. Az utóbbi volumetrikus és doppingolási kérdésekre redukálódott. Az előbbi probléma azonban előtérbe hozta a SiC szemcsék felületén lejátszódó jelenségek vizsgálatát.

E téren régebbi megállapításaink csak az alapanyag tisztításáig és az egyféle doppingolás bevezetéséig terjedtek [2]. Részletesebb megfontolások később arra vezettek, hogy a nemlinearitás lényeges fokozása csak jól definiált körülmények között kifejlődött lavina (avalanche) jelenségek létrehozása révén érhető el.

E célra legelőnyösebb lett volna természetesen SiC egykristályban létrehozott $p-n$ rétegeket vizsgálni, ez azonban a létrehozni kívánt nagy felületek miatt nem látszott járható útnak.

Ebben a helyzetben, 1964 elején vetettük fel — megalkuvásként — a Si—SiC $p-n$ heterokötések létrehozásának lehetőségét. Tudatában voltunk annak, hogy egykristályos Si lemezek felületén létrehozott SiC, a nagy rácsállandókülönbség ($Si = 5,42 \text{ \AA}$, $SiC = 4,35 \text{ \AA}$!)* miatt nem lesz egykristály jellegű. A heterokötéseket azonban még így is definiáltabb viszonyúnak tekintettük, mint két polikristályos test kontaktusviszonyait.

* Irodalmi adatok szerint jó minőségű „heterojunction”-t maximálisan 5—8% rácsállandó különbség esetén lehet létrehozni.

II. Si—SiC heterokötés létrehozásának technológiája

Az említett problémakörben számos kísérletet végeztünk a kísérleti paraméterek, valamint felhasznált anyagok jelentős variálásával. A sok technológiai variáció közül a következőkben leírt eljárást találtuk legcélravezetőbbnek, ill. szempontunkból a legjobb $p-n$, ill. $n-n^+$ átmenetet biztosítóknak.

Kiindulási anyagként $22\Phi \times 0,5$ mm-es egykristályos p -, ill. n típusú Si lemezt használtunk. A $[111]$ sík eltérése a lemez geometriai síkjától maximálisan 3° volt. A lemezeken először egy, a Félvezető laboratóriumban SALÁNKI T. munkatársunk által kidolgozott módszerrel 2000–3000 Å vastag szilíciumoxid réteget hoztunk létre. Ennek részleges eltávolítása után (kúszóút-biztosítás!) a lemezek az 1350°C -on tartott csökemencébe kerültek. A kemencén argon (kb. 10 l/óra) és metán (0,3 l/óra) keverékét áramoltattuk $4 \div 24$ órán át. Így a felületen β -SiC-ot hoztunk létre.

Az „ n ”, ill. „ p ” doppingolás további iztítás mellett történt, a hordozógázhoz nitrogén, illetve trietilalumínium adagolásával. A lemezekről a főlőszenet oxigénban történő iztítással, az egyik oldalon felesleges szilíciumkarbidot pedig mechanikusan távolítottuk el. Ezután mind a SiC réteget, mind a Si-lemezt arannyal vákuumgőzöltük és a felvitt rétegeket 800°C -on hidrogén közegben beégettük.

III. A Si—SiC heteroátmenetek elméleti és kísérleti vizsgálata

Mint hogy a Si—SiC heteroátmenetek energiasáv diagramjára semmiféle irodalmi adatot nem találtunk, kénytelenek voltunk azokat magunk megszerkeszteni. A szerkesztést az irodalmilag található, legvalószínűbb tiltottsáv és kilépési munkaértékekkel végeztük el. A bizonytalanság rögzítése különösen a kilépési munkára vonatkozóan érvényes, mivel itt szilíciumkarbidra igen különböző értékek találhatók, attól függően, hogy a kilépési munkaértéket kontaktpotenciál, termikus emisszió vagy fotoemissziós mérés alapján határozták meg.

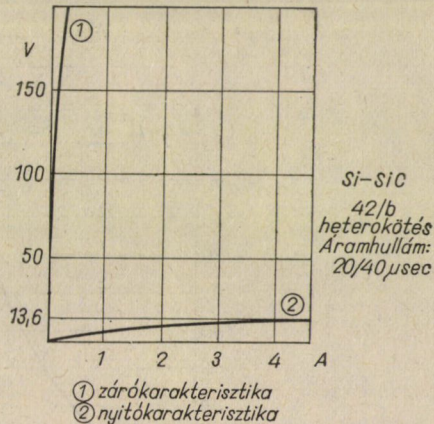
Az energiasáv diagramokat Si—SiC sorrendnek megfelelően $p-n$ és $n-n$, illetve $n-p$ átmenetre rajzoltuk meg. Így meghatároztuk a várható nyitó- és záróirányokat. Ez több esetben nem egyezik az azonos anyagban kiképzett $p-n$ átmenetekre érvényes szabályokkal (vö. 2. és 3. ábra).

A végzett nagyszámú kísérlet eredményeit az I. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban felhasznált Si lemeztípusok fajlagos ellenállását, az alkalmazott doppingolást, az ún. zárófeszültséget, az egyenirányítás fellépését, ill. hiányát jelöltük. Egyenirányítás hiányának azt jelöltük, ha a jelölt zárófeszültségen, ill. azzal azonos nyitófeszültségen az áramok aránya 1:10 értéknél kisebb volt.

I. táblázat

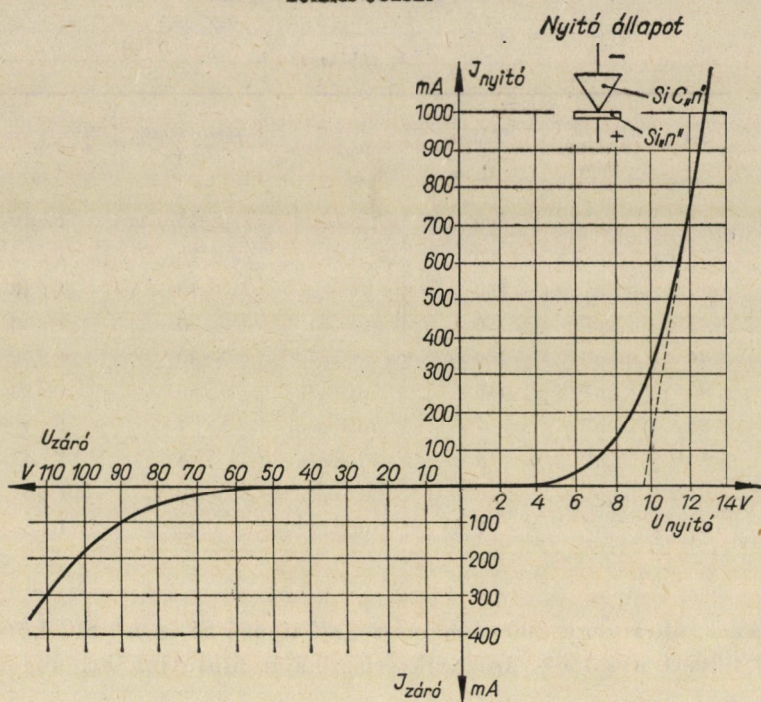
Jel	Si lemez		SiC doppingolás	Zárófeszültség, $V_{csúcs}$	Záró- és nyitóáram aránya
	Vezetési típus	Fajlagos ellenállás, Ω cm			
2	„n”	200	—	16	1 : 10
11/1	„n”	200	—	20	1 : 15
11/2	„n”	200	—	10	1 : 10
45	„p”	150	—	80	1 : 30
46	„p”	150	—	30	1 : 40
47	„p”	150	nitrogén	60	1 : 30
53	„n”	7	nitrogén	4	1 : 4
57/2	„n”	2	nitrogén	4	1 : 4
61/2	„p”	0,5—1	nitrogén	10	1 : 6
65	„n”	7	nitrogén	10	1 : 5

Az 1. ábrán egy 200 ohmcm-es „n” típusú Si és n^+ SiC kötés oszcillográffal felvett nyitó és zárókarakterisztikáját mutatjuk be, míg a 2. ábrán

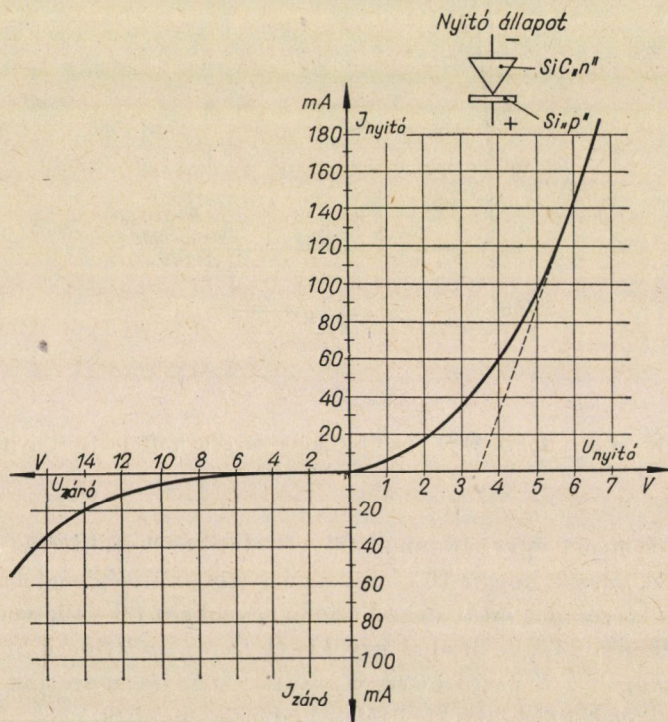


I. ábra. 200 Ω cm-es n típusú és Si — n \bar{u} SiC kötés oszcillográffal felvett nyitó- és zárókarakterisztikája

ugyanezen átmenet egyenárammal felvett statikus karakterisztikája látható. Valószínűnek látszik, hogy a 10 V nagyságú nyitófeszültségben jelentős átmeneti ellenállások is szerepet játszanak. A dióda egyébként 80 ÷ 100 volt zárófeszültségűnek deklarálható. A 3. ábra egy kis (1 Ω cm) „p” típusú Si és hasonlóan n^+ -ra doppingolt SiC nyitó és zárókarakterisztikáját mutatjuk be. Látható, hogy a viszonyok az előbbieknél jóval kedvezőtlenebbek.



2. ábra. Egyenárammal felvett statikus karakterisztika: 42/2 lemez, $F = 200 \text{ } \mu\text{m}$



3. ábra. Egyenárammal felvett statikus karakterisztika: 57/1 lemez, $F = 1 \text{ } \mu\text{m}$

IV. A vizsgálatok eredményeinek értékelése

Az eddig végzett kísérleteket tájékoztató jellegűnek kell tekinteni. Jelen időpontig a legkedvezőbb egyenirányító karakterisztikát Si—SiC heterokötésben $n-n^+$ átmenettel értük el. A lavinaeffektusok tanulmányozása a mellékhatásoktól mentesített telítési áram létrehozásának hiánya miatt eddig nem volt lehetséges.

IRODALOM

1. DR. LUKÁCS J.: Feszültségfüggő ellenállások túlfeszültségelvezetők számára. *Elektrotechnika* (1952), dec.
2. DR. LUKÁCS J.—BOGOLY I.: A SiC jelene és jövője az erősáramú villamosiparban. *Technika*, 1957. febr.
3. LUKÁCS, J.: Weitere Verbesserung nichtlinearer Widerstände. *Energietechnik* **10**, (1963), 459—460.