

Mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjai II.

DR. GOTTWALD PÉTER
BME, Elektronikus Eszközök Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

Az IMPATT, TRAPATT és BARITT diódákkal megvalósított mikrohullám-források spektrális tisztasága nem minden alkalmazás szempontjából megfelelő.

Az egyik legmodernebb módszer az FM zaj csökkentésére az optikai injektálás. A cikk első részében az említett eszközök fényérzékenységének mechanizmusával foglalkozunk. A második részben rövid áttekintést adunk más mikrohullámú félvezető eszközök fényérzékenységéről, mint pl.: a PIN és varaktor diódáról és egyes passzív elemekről, melyeket monolitikus mikrohullámú áramkörökben alkalmaznak.

A téma kutatását az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság támogatja.

1. Bevezetés

A mikrohullámú elektronika számos alkalmazásában nagy spektrális tisztaságú jelforrásokat igényel, amely mellett sokszor nagy kimenő teljesítményre is szükség lehet. A spektrális tisztaság javítására elterjedten alkalmazott módszer az oszcillátorok injektálása egy kis FM zajú, stabil oszcillátor jelével.

Ugyancsak az injektálás módszerével oldható meg több oszcillátor fázisszinkronizált működtetése is, amelyre pl. fázisvezérelt antennarácsok táplálásánál lehet szükség.

E feladatok megoldására a mikrohullámú félvezető eszközök fényérzékenységének felhasználásával új és előnyös optikai módszerek alakultak ki.

A félvezető alapú mikrohullámú eszközök fényérzékenysége olyan feladatok megoldását is lehetővé tette, amelyekre eddig más módszer nemigen volt ismeretes. Ezek közül kiemeljük a ps-os sebességű optikai kapcsolókat (POS : Picosecond Optoelectronic Switch), illetve a monolitikus mikrohullámú integrált áramkörökben alkalmazott passzív áramköri elemek (pl. különféle csatolók) optikai vezérlésének lehetőségét.

Folytatva a megkezdett témát^[1], ez alkalommal a futási idő eszközök^[2] és egyéb mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjaival foglalkozunk. Ismertetünk néhány eredményt a passzív áramköri elemek optikai vezérlésével kapcsolatban is.

Beérkezett: 1988. VIII. 3. (↑)

DR. GOTTWALD PÉTER

Dr. Gottwald Péter 1966-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen, ahol azóta is dolgozik. Az Elektronikus Eszközök Tanszék oktatójaként a mikrohullámú aktív eszközök elméletével, technológiájával és oktatásával foglalkozik. Számos nagyfrekvenciás mérés-technikai problémát oldott meg ipari megbízásra a félvezető eszközök fejlesztésével

kapcsolatban. 1978. óta műszaki doktor. Szakmai ismereteit több külföldi tanulmányút keretében gazdagította. 1983. óta munkatársa az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézetének is, ahol a GaAs mikrohullámú eszközök fejlesztésén dolgozik. OMFB és OTKA kutatásokban is részt vesz. Szerzője a Mikrohullámú félvezetők c. nivódíjas szakkönyvnek és Mikrohullámú félvezetők egy fejezetének.

2. A futási idő eszközök optikai vezérlésének alapjai

A futási idő eszközök a mikrohullámú elektronika nagyjelentőségű oszcillátor eszközei. Legfőbb képviselőik a különféle IMPATT eszközök, a BARITT és a TRAPATT dióda, illetve a Gunn dióda^[2].

Jelentőségük a velük készíthető mikrohullámú teljesítményforrások szerkezeti felépítésének egyszerűségével, az elérhető nagy teljesítménnyel, a viszonylag jó hatásfokkal és a magas működési frekvenciával függ össze.

Működési frekvenciájuk ma már biztonsággal lefedti a 100 GHz-ig terjedő frekvenciasávot. Közepes frekvenciákon folyamatos üzemben néhányszor 10 W teljesítményt szolgáltatnak, hatásfokuk 10–30 % között mozog. (A TRAPATT diódáknál a hatásfok 50–60 %-ot is elér, de a tipikus működési frekvencia a 10 GHz alatt marad.)

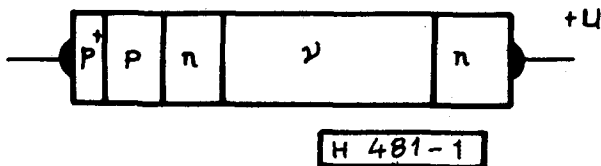
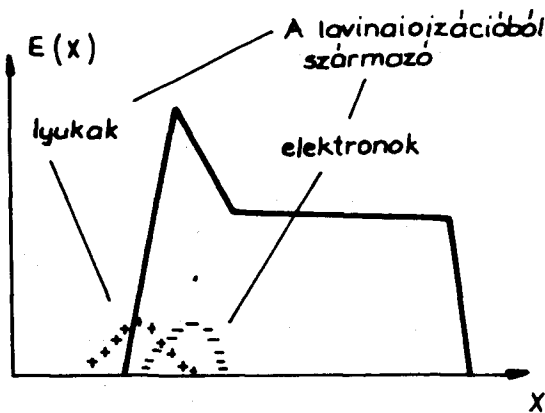
A futási idő eszközökkel előállított mikrohullámú teljesítmény spektrális tisztasága a Gunn diódák esetében jó, BARITT diódás oszcillátornál kielégítő, az IMPATT és a TRAPATT oszcillátoroknál viszont bizonyos alkalmazásokban már nem elfogadható.

Az IMPATT és a TRAPATT oszcillátoroknál a spektrális tisztaság az oszcillátor injektálásával^[3] javítható. Ennek mai modern módszere a modulált lézer-fény segítségével történő direkt optikai injektálás^{[4], [5], [6]}.

Az IMPATT diódák tipikus képviselője a Read dióda, melynek rétegszerkezete és a záróirányú fe-

szültség hatására benne kialakuló térerősségeloszlás a 1. ábrán látható.

Ha a diódára az egyenfeszültség mellett az oszcilláció miatt váltófeszültség is jut, a térerősség-eloszlás a minta minden pontjában azonos fázisban periódikusan nő, ill. csökken, követve az oszcillációból származó feszültségkomponens időbeli változását.



1. ábra. A Read dióda rétegszerkezete és a benne kialakuló térerősség-eloszlás

Azokban az időpillanatokban, amikor az oszcilláció miatt a diódára jutó zárófeszültség maximális, az átmenet helyén fellépő térerősség-csúcs olyan nagyra válik, hogy már lavina-ionizációt hoz létre. A lavinaionizáció által keltett plazma elektronjai a megfelelően méretezett hosszúságú gyenge n-típusú (ν -típusú) réteg felé, a lyukak pedig a p^+ kontaktus felé sodródnak. Mivel az elektroncsomag igen nagy térerősségű zónán sodródik végig, a sebesség-telítődés miatt a töltéscsomagot a Coulomb-erők nem tudják feltágítani.

Az elektron csomag futása a külső áramkörben influált áramot hoz létre. Mivel pedig ez időben éppen a nagyfrekvenciás rezgés negatív félperiódusára esik, a dióda negatív valós részű admittanciát mutat, és így energiát táplál be a vele csatolásban lévő rezonátorba.

A Read dióda szerkezeti megvalósításának számos igen fontos változata^[2] ismeretes, amelyekre itt nem térünk ki, mert a működés elve és az optikai injektálás szempontjából egymáshoz képest lényeges eltérést nem mutatnak.

Arra viszont utalunk, hogy a Schottky átmenettel kialakított GaAs diódák számos kedvező tulajdonságuk miatt igen elterjedtek.

Az oszcilláció viszonylag nagy FM és AM zaja^[2] abból a tényből fakad, hogy a működés alapja a lavinaionizációs folyamat. Ez több elemi ionizációs folyamat eredője, amelyben statisztikus ingadozások is vannak. Tovább rontja a helyzetet, hogy maga a lavinajelenség minden meglévő ingadozást nagymértékben felerősít.

Éppen ez a körülmény használható fel arra, hogy a Read diódás (vagy általánosabban IMPATT —) oszcillátorokat jó hatásfokkal injektálhassuk modulált lézerefény segítségével.

A felismeréshez néhány előzetes megfigyelés vezetett. Az egyik legkorábbi ezek közül az volt, hogy a rezgési periódus azon részeiben, amikor a pillanatnyi feszültség a lavinafeszültségnél kisebb, az átmenet normál záróirányú árama hozzájárul a teljes dióda áramhoz, és kedvezőtlenül befolyásolja a működést. Később azt is kimutatták, hogy bármely módon (pl. ionizáló sugárzással) növelve a dióda záróáramát, általában csökken a kimenő teljesítmény és enyhén növekszik az oszcillációs frekvencia. Ezt követően 1977-ben Vyas és munkatársai elvégezték az első kísérleteket a lézerefény hatásának vizsgálatára^[7]. A frekvencia és a kimenő teljesítmény változását a megvilágítás intenzitása, mint paraméter függvényében a 2. ábrán mutatjuk be. A megvilágítás intenzitását a kis zárófeszültség mellett a diódán átfolyó fotoárammal jellemezzük.

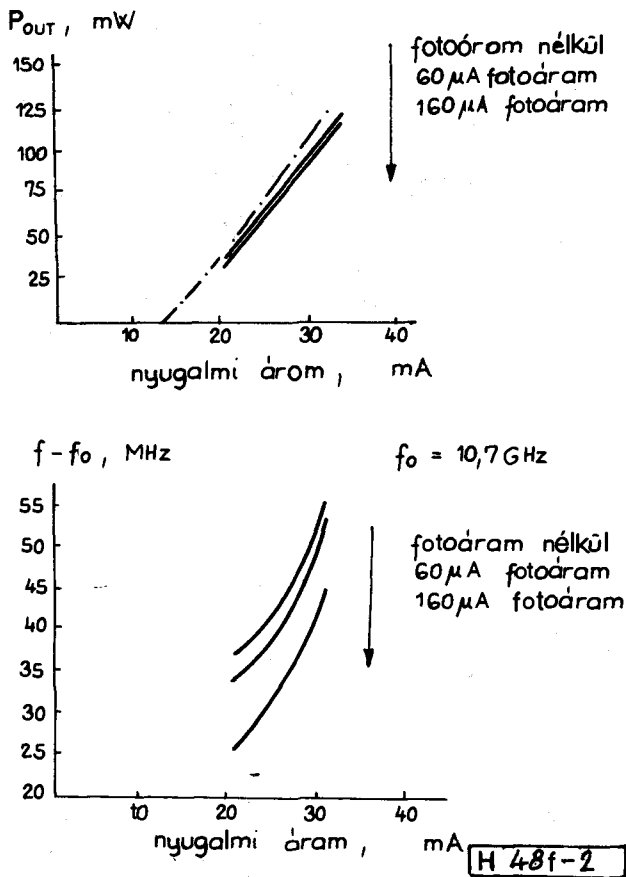
Hamarosan megjelent az első publikáció a modulált lézerefénnyel injektált X-sávú IMPATT oszcillátorról^[6], amelynél az oszcilláció spektrális tisztaságát az injektálással jelentősen növelni tudták.

Az injektálás kvantitatív vizsgálata^{[8], [9]} azt mutatta, hogy amennyiben az oszcillációs feszültségtől kis fáziskülönbséggel eltérő optikai gerjesztést végzünk, az így keltett töltések áramát a lavinafolyamat felerősíti. Így a dióda áramában egy az injektálással fázisban lévő és jelentős nagyságú áramkomponens lép fel.

A gerjesztett fotoáram felerősödése — vagyis az F_a lavina erősítési tényező — annál nagyobb, minél nagyobb az oszcillációból adódó E_1 térerősség-amplitudó az E_{po} lavina-letörési térerősséghez képest. Ezt az összefüggést mutatjuk be a 3. ábrán.

Az IMPATT diódák injektálásával kapcsolatban néhány gyakorlati kérdésre is kitérünk.

Tekintve, hogy az eszközben a legnagyobb disszipáció-sűrűség a lavinaletörésben működő pn.

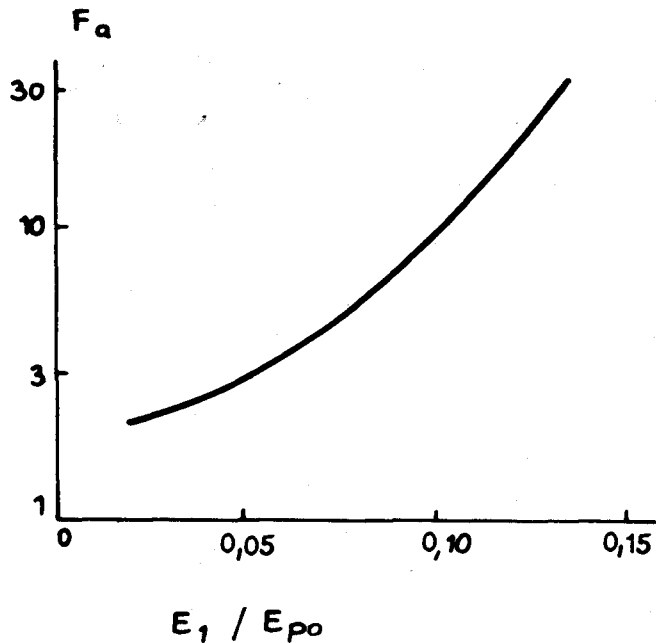


2. ábra. Egy IMPATT-diódás oszcillátor teljesítményének és frekvenciájának változása a megvilágítás függvényében [7]

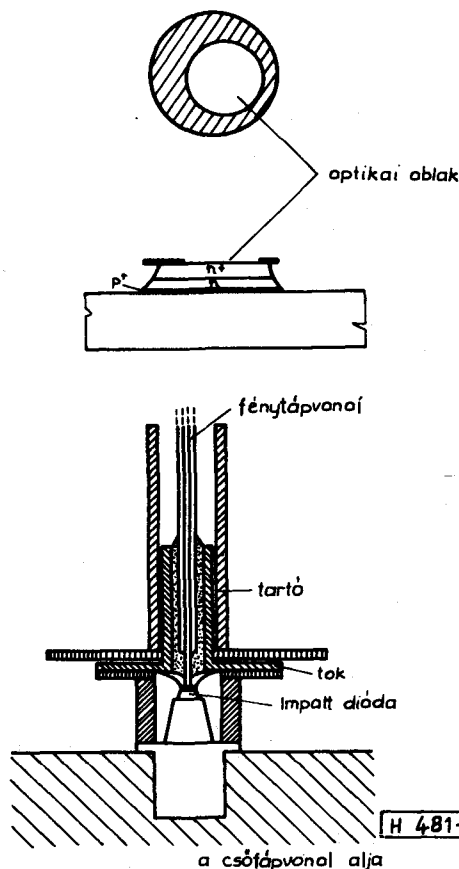
(vagy Schottky) átmenet környékén lép fel, a jó hőelvezetés érdekében az eszközt ezen átmenet felőli oldalával kell a tok hőelvezető tömbjére szerelni. (Meggjegyzendő, hogy a disszipáció sűrűség másutt is nagy és rendszerint eléri a néhányszor 10 kW/mm³ értéket is.) Ilyen viszonyok mellett a megvilágítás csak az eszközök másik oldaláról, a futási zónán keresztül lehetséges. Ilyen megoldásra mutatunk példát a 4. ábrán^[10].

A futási zónát képező félvezető réteg vastagsága pl. 10 GHz-es dióda esetében 5 μm körül van, és a szükséges rétegvastagság a frekvenciával fordított arányosságban áll. Mivel pedig Si-ban a 870 nm hullámhosszúságú fényre az abszorpciós hossz 10–15 μm, és ez az érték magasabb kristályhőmérséklet mellett jelentősen csökken (pl. 200 °C-on már kb. 8 μm-re csökken le) látható, hogy a besugárzott fényteljesítmény csak jelentős veszteséggel éri el a lavinazónát.

Ez a körülmény annál is hátrányosabb, mert a futási zónában kellett lyuk-elektron párok közül csupán a lyukak haladnak át a lavinazónán, és az elektronokénál lényegesen kisebb ionizációs tényezőjük miatt ezek gyakorlatilag hatástalanok.



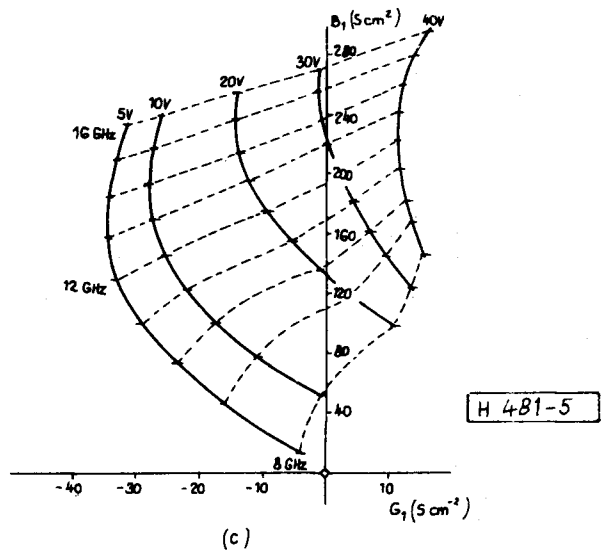
3. ábra. A lavinakerősítési tényező változása a relat oszcillációs térerősség-amplitúdó függvényében [8]



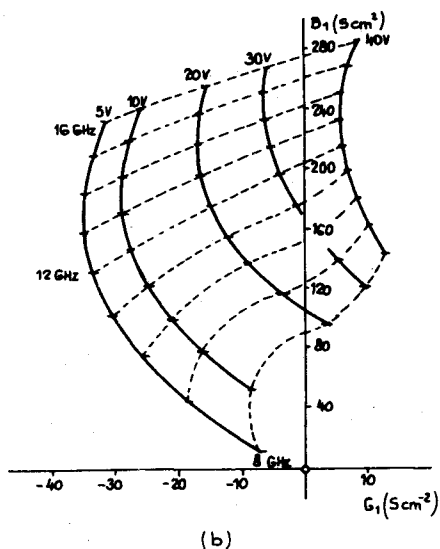
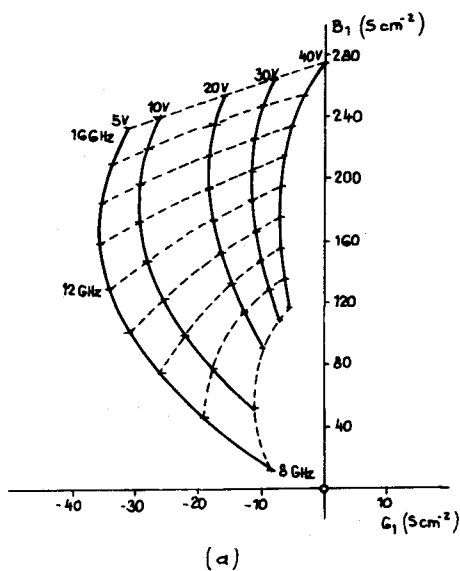
4. ábra. A megvilágítható IMPATT dióda szerkezete, tokozása és csatlakoztatása a tápvonalhoz és a fénykábelhez^[10]

Jól látható mindez a nagyjelű működést jellemző admittancia-görbék alakulásából, amelyeket egy p^+-n-n^+ -szerkezetű IMPATT diódára a 5. ábrán mutatunk be. Látható, hogy a p^+ oldal irányából történő megvilágítás esetén az admittancia-görbék megváltozása sokkal nagyobb.

Végül megemlítjük, hogy a GaAs IMPATT diódák direkt optikai injektálásánál a Si diódákhoz képest kedvezőtlenebb a helyzet, mivel a fény abszorpciós hossza GaAs-ben sokkal kisebb, csupán $1 \mu\text{m}$ körüli. Javítja viszont a helyzetet, hogy a GaAs esetében nincs nagy különbség a lyukak és az elektronok ionizációs úthossza között. Emiatt és feltehetőleg azért is, mert a GaAs diódák zaja a Si diódákéhoz képest lényegesen kisebb, a GaAs diódák direkt optikai injektálásával a szakirodalom mindmáig gyakorlatilag nem foglalkozik.



5. ábra. IMPATT dióda nagyjelű admittancia görbéi^[9] a) megvilágítás nélkül; b) az n-oldal irányából; c) a p-oldal irányából megvilágítva



A futási időeszközök optikai vezérlésével kapcsolatban röviden még két eszköz, a BARITT és a TRAPATT dióda direkt optikai injektálásának alapelveit vázoljuk.

A BARITT dióda a Read diódánál kisebb teljesítményt szolgáltat, hatásfoka 10% körüli, zajviszonyai azonban lényegesen jobbák, mint az IMPATT eszközöké.

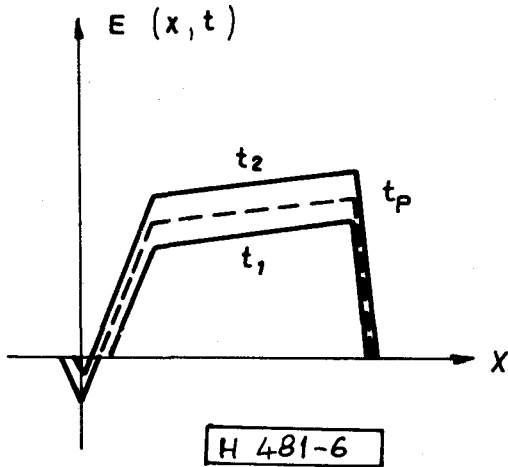
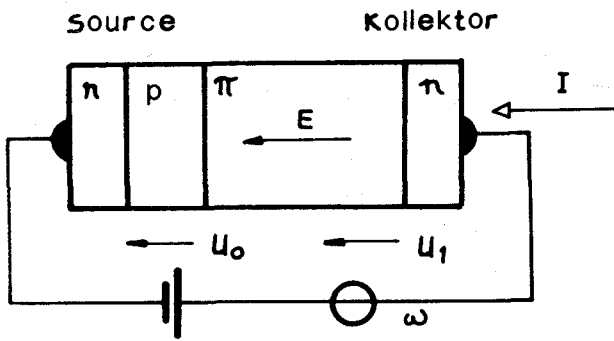
A működést egy p-n átmenetekkel kialakított diódán vázoljuk. Az elvi rétegszerkezetet és a benne kialakuló térerősség-eloszlást a rezgési periódus három különböző fázisában a 6. ábrán rajzoltuk meg.

Az ábra szerint a t_1 időpillanat a nagyfrekvenciás jel negatív félperiódusához tartozik. Ekkor a π -n átmenet tértöltés-rétege még nem éri el az n-p átmenetnél kialakuló tértöltés-réteget. Időben a pozitív félperiódus felé haladva a két tértöltés-réteg a t_p időpillanatban éppen összeér. Ez az átszúrás (punch through) állapot. Ettől kezdve a rezgés pozitív félperiódusa fokozatosan lehúzza az n-p átmenet potenciál-gátját, (t_2 időpillanat), amely ekkor rövid ideig elektronokat injektál a szélesebb π rétegbe.

Az injektált elektronok π réteg-beli futása a Read diódához hasonlóan negatív valós részű impedancia keletkezéséhez vezet.

Az optikai injektálást a π -n átmenetet érő fotogerjesztés teszi lehetővé az által, hogy az itt gerjesztett töltéshordozók árama az n-p átmenetre nézve nyitóirányú. Ez pedig — mint kényszerített nyitóirányú áram — lehúzza az n-p átmenet potenciál-gátjának magasságát, előre hozva a nyitás pillanatát.

A BARITT dióda részletesebb elmélete a magyar szakirodalomban is fellelhető^[2], nincs azonban tu-



6. ábra. A Barrit dióda működéséhez

domásunk arról, hogy a nemzetközi irodalom az optikai injektálás kérdésével foglalkozott volna.

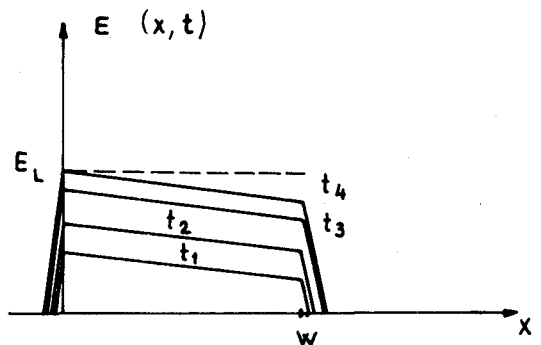
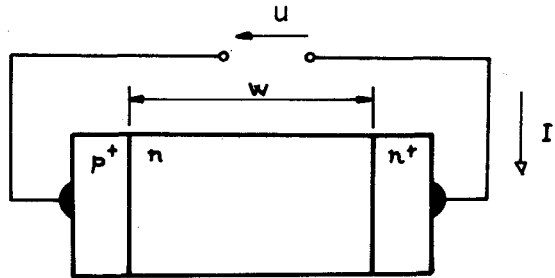
A TRAPATT dióda^[2] nagyteljesítményű eszköz, 100 W körüli kimenőteljesítmény és jó hatásfok (50–60%) jellemzi. Működési frekvenciája alacsony (GHz körüli).

Szerkezetét, és benne az állandó záróirányú áram hatására időben növekvő térerősség-eloszlást a 7. ábrán mutatjuk meg.

A rajz szerint a térerősség a t_4 időpontban az n-réteg p-oldali szélénél eléri a lavina-ionizációs térerősséget, majd a térerősség profil „nyírás-szerűen” végigfut ezen az értéken. E gyorsan lejátszódó folyamat közben a középső réteg megtelik a lavina-ionizáció által termelt lyuk elektron párokból álló plazmával, és emiatt lecsökken a kapcsolószültség. Ezt követően az elektromos tér kihúzza a plazmát, a feszültség emelkedik, és a folyamat újra indul.

A TRAPATT dióda működését a pulzusélek bizonytalansága (jitter) jellemzi, amely akár 100 ns-ot is kitehet.

Megfigyelték^[5], hogy a plazmaképződés folyamatába érzékenyen beleszólnak a fényel generált töltéshordozók. Így, ha a lézer fonyimpulzusa a plazmaképződés közben éri a dióda középső rétegét, a csökkenő feszültségű éle idejének bizonytalansága akár 30 ns-ra is lecsökkenthető.



7. ábra. A TRAPATT dióda működéséhez

Optikai vezérléssel javítható az impulzus üzemi működéskor tapasztalható berezési bizonytalanság is.

Igy az optikai vezérlés lehetővé teszi a TRAPATT diódák alkalmazását nagy feloldóképességű radarokban.

3. Egyéb mikrohullámú eszközök optikai vezérlésének alapjai

A továbbiakban röviden még két egyszerűbb szerkezetű eszköz optikai vezérlésének alapjait érintjük.

A PIN dióda a mikrohullámú elektronika fontos szabályozó, hangoló és kapcsoló eleme^[2]. Felépítésében és működésében a legfontosabb szerepe a p és n rétegek között elhelyezkedő igen gyengén adalókölt (pl. $N=10^{12} \text{ cm}^{-3}$) és viszonylag vastag (pl. 50–100 μm) i — intrinsik — rétegnek van.

Nyitóirányú impedanciája a szokásos hullámim-pedancia érték $Z_0 = 50 \Omega$ körül akár négy nagysá-grenden keresztül is kényelmesen szabályozható a diódán átfolyó egyenárammal. Az impedancia a mikrohullámú frekvenciasávban (gyakorlatilag 100 MHz felett) ohmos jellegű, nagysága az árammal fordítottan arányos.

Nagy záróirányú feszültségeknél a dióda gyen-gén adalékolt középső rétege teljesen kiürül. A ben-ne kialakuló viszonylag állandó térerősséget az n és a p rétegekbe is behatoló kiürített réteg semlegesít-telen adalék-ionjai tartják fenn. Ebben az állapot-ban a PIN dióda közel feszültségfüggetlen, kis érté-kű kapacitásnak felel meg.

Kisebb záróirányú feszültségnél az I réteg csak részlegesen ürül ki. Ebben az állapotban az I réteg dielektromos relaxációs frekvenciája feletti üzemi frekvenciákon, gyakorlatilag a kapacitás továbbra is feszültségfüggetlen lesz.

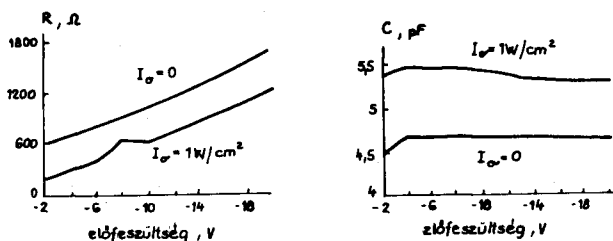
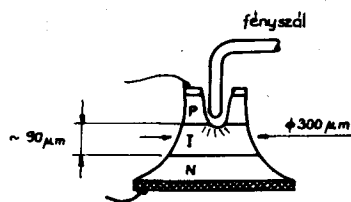
Ha viszont ekkor az I réteget fénygerjesztés éri, a fotogerjesztett töltéshordozók koncentrációja meg is haladhatja az I réteg saját töltéshordozóinak kon-centrációját. Mérések tanúsítják^[11] és elméletileg is igazolható^[12], hogy ekkor a dióda kapacitása meg-nő, soros ellenállása viszont lecsökken. A 8. ábrán a megvilágításra alkalmassá tett dióda konstrukció-ját, illetve az elektromos paraméterek megvilágítás hatására bekövetkező megváltozást mutatjuk be a szakirodalom [11] alapján.

A dióda kapacitás megváltozása oszcillátorok hangolására (pl. Gunn oszcillátor esetében), indirekt optikai injektálására éppúgy alkalmazható, mint passzív áramkörök fázistolásának optikai vezérlé-sére.

Varaktor diódák esetében az adalékeloszlás olyan, hogy a feszültségtől erősen függő rétegekapa-citás adódjék^{[2], [13]}. Ha a dióda egyenáramú előfe-szítése nagy impedanciájú áramkörrel történik, az átmenetben ébredő fotofeszültség csökkenti a zá-róirányú előfeszültséget, amely egyben a rétegekapa-citás növekedésével jár.

Ha a megvilágítás modulált fénysugárral történik, és a moduláció frekvenciájára nézve kis impedan-ciájú áramkör kapcsolódik a diódához, a dióda az áramkörbe fotoáramot injektál. Ilyen megoldással juttatható például optikai úton egy parametrikus erősítőbe a felerősítendő jel^{[14], [15], [16]}.

Hasonló elvű megoldást lavina-fotodiódákkal kapcsolatban is publikáltak^[17]. Ez esetben a lavina-fotodióda erősen nemlineáris karakterisztikáját egyben a vett optikai jel keverésére is felhasznál-ják. Így a fotodióda és a keverő (vagy szélessávú erősítő) közötti szélessávú illesztési feladatok auto-matikusan elmaradnak. Mindezek eredményeké-pen a hagyományos megoldáshoz képest javul a keverő jel/zaj viszonya.



H 481-S

8. ábra. Megvilágításra alkalmas PIN dióda elvi szerkezete, és az elektromos paraméterek változása a megvilágítás hatására

4. Passzív áramköri elemek optikai vezérlésének alapjai

E rövid áttekítésben csupán az alapelveket érintjük és csak olyan vezérlési lehetőségekre térünk ki, amelyek a leggyakrabban alkalmazott félvezető anyagainkkal (Si és GaAs) kapcsolatosak.

A pikoszekundumos optikai kapcsoló (POS)^[18] a félvezető anyagokban gerjesztéssel előidé-zhető igen erős vezetésmodulációt hasznosítja. Segítségével szélessávú mikrohullámú burst impulzu-sok állíthatók elő a kW/kV-os teljesítmény ill. fe-szültségtartományban^[19].

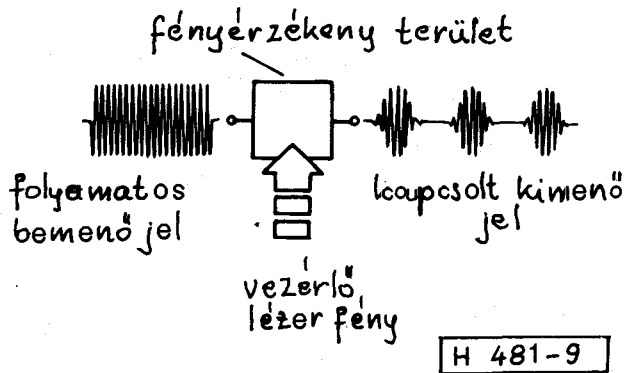
A POS eszköz működési elvét a 9. ábrán mutatjuk be. A gyakorlati megvalósítására a 10. ábrán muta-tunk példákat. Az ábrán egy be- és kikapcsolható coplanar tápvonallal realizált kapcsoló mellett két planár megoldás látható, melyek közül az egyiknél a szerkezeti kialakítás biztosítja a mindkét irányú kapcsolás lehetőségét.

Szellemesen hasznosítja az abszorpciós hossz hullámhosszúságtól való függését Si esetében a 11. ábrán bemutatott megoldás^[20]. Ebben a $0,53 \mu\text{m}$ hullámhosszúságú fény a tápvonal megszakításá-ban felszínesen hoz létre nagy vezetőképességű réteget, miáltal a tápvonal megszakítását mintegy rövidre zárja. Az $1,06 \mu\text{m}$ hullámhosszúságú fény abszorpciós hossza olyan nagy, hogy a szilícium hordozóban mélyen behatolva hoz létre vezető plazmát, és ezáltal a szabad tápvonal végeket a tápvonal alaplemezéhez köti.

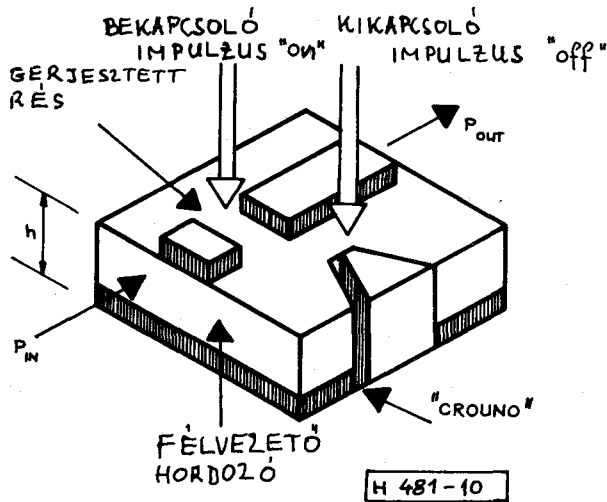
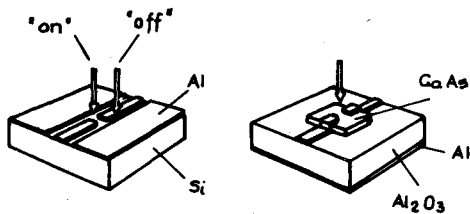
Léteznek olyan megoldások is, amikor egy félve-zető hordozón kialakított szalag-tápvonalas rend-szert a tápvonalra merőleges síkban valahol „le-vágnak”, és a megvilágítást erre a merőleges felü-

lőtre vetítik. Így a tápvonal alatt az élnél nagy vezetőképeségű plazma keletkezik, amely a fény abszorpciója miatt a megvilágított felülettől távolodva egyre kisebb vezetőképeségűvé válik.

Mikrohullámú integrált áramkörök (MMIC) paszív elemeinek optikai stimulálását az teszi lehetővé, hogy ezek monolitikus változatait legtöbbször félvezető GaAs rétegen planáris struktúra formájában alakítják ki. Így a felület tetszőszerinti helyein optikai gerjesztéssel nagy vezetőképeségű felületi réteg hozható létre^[21]

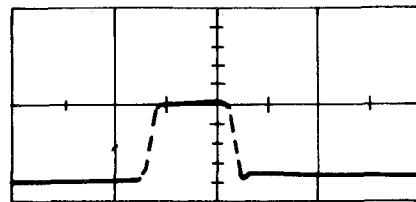
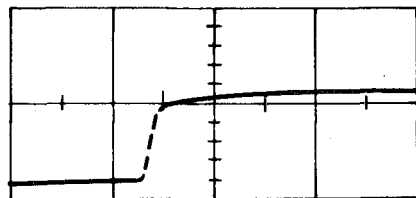
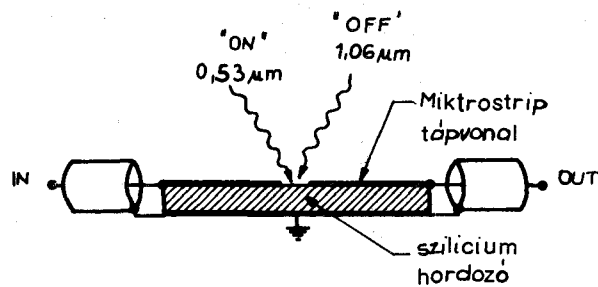


9. ábra. A pikoszekundumos optikai kapcsoló elve



10. ábra. Különböző pikoszekundumos sebességű optikai kapcsoló^{[18], [19]}

Egy ilyen tápvonalszakasz a megvilágítással elmentés végén reflexió típusú kapcsolóként működik.



0,53 μm "on" 1,06 μm "off"

H 481-11

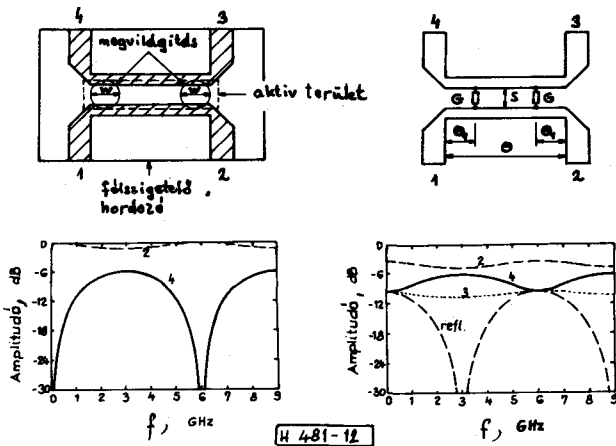
11. ábra. Kétféle hullámhosszúságú lézertény alkalmazása szilícium alapú pikoszekundumos optikai kapcsolóban^[20]

A jelenség gyakorlati alkalmazásának illusztrálására a 12. ábrán mutatunk példát. A szimmetrikus iránycsatlóra vetített két fénypont a csatló ágai között átvezetések hoz létre, ezek pedig az ábrán bemutatott változást okozzák a csatlósi karakterisztikában^[22]. A vezérlés analóg jellegű, és annak ellenére nagyon gyors, hogy a csatló közötti részekben nem uralkodik nagy télerősség, amely a generált töltéseket kihúzná. Ennek oka, hogy a Cr adalékolású félvezető GaAs-ben a töltőshordozó élettartam általában 1 ns alatt van, és így a rekombináció a vezetőképeséget gyorsan megszünteti.

Az alkalmazások egy másik csoportja azt a lehetőséget aknázza ki, hogy a félvezető anyagok vezetőképesége igen széles határok között változtatható. A Cr adalékolása GaAs-et pl. félvezetővé (gyakorlatilag dielektrikum) teszi, de megvilágítással erős vezetőképeséget idézhető elő.

Ilyen anyagokból készített rétegekkel hatékonyan befolyásolhatók a különböző hullámvezetők (és rezonátorok) elektromágneses téreloszlása.

Az említettekre vonatkozó egyik legérdekesebb példa adódik, ha a mm hullámsávban működő fém csőtápvonal keresztmetszetének egy részét ilyen félvezető anyaggal töltjük ki. A megvilágítással létrehozott plazma megváltoztatja a tápvonal térelosztását, és ezzel együtt változni fog a tápvonal fázistolása is^[23].



12. ábra. Szimmetrikus iránykapcsoló szerkezete, a megvilágítás hatásának modellezése felületi átvezetésekkel. A csatlózási karakterisztikák változása a megvilágítás hatására. (Jobb oldali karakterisztika.)^[22] (A θ a megvilágított részek fázistolásban mért távolsága a bemenettől és a kimenettől mérve.)

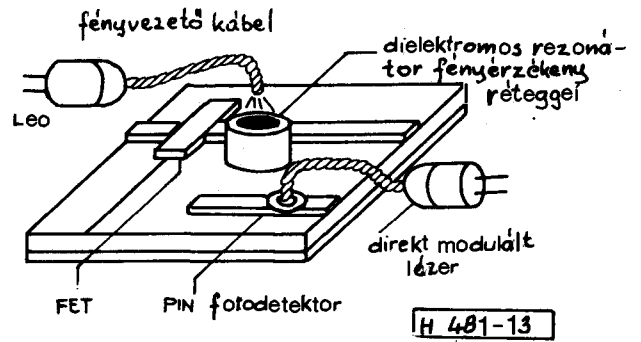
Egy további igen fontos lehetőség a dielektromos rezonátorokban kialakuló elektromágneses téreloszlás befolyásolása. Ez úgy lehetséges, hogy a rezonátor egyik sík lapját fényérzékeny félvezető anyaggal borítják, és a megvilágítást erre vetítik. Ilyen megoldásra mutatunk példát a 13. ábrán^[24]. A fény-vezérelt rezonátor kvantitatív analízise az irodalomban megtalálható^[12].

5. ÖSSZEGEZÉS

A mikrohullámú teljesítmény-forrásként gyakorta alkalmazott u.n. futási idő eszközökkel rendszerint csak mérsékelt spektrális tisztaságú jelek állíthatók elő, de az FM zaj az optikai injektálás módszerével jelentősen csökkenthető.

Az injektálás szűk sávon belül hangolhatóságot is biztosít.

Láttuk, hogy az IMPATT eszközökben a fény által keltett fotoáramokat a lavina folyamat felerősíti, érzékenyebbé téve ezáltal az eszközt a fényrel történő injektálással szemben.



13. ábra. Optikailag hangolt FET DRO^[24]

A futási idő eszközöknél a fény jó hatásfokú bejuttatása és a jó hűtés egyidejű biztosítása megfelelő konstrukciós kialakítást igényel.

A TRAPATT oszcillátor esetében az impulzus él bizonytalansága, az ún. jitter jelentős mértékben csökkenthető az optikai injektálás révén.

Megvilágított PIN és varaktor diódákkal rendszerint hangolási feladatokat oldanak meg, de fényérzékeny félvezető réteggel ellátva, ilyen célra dielektromos rezonátorok is jól alkalmazhatók.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Budapesti Műszaki Egyetemen Mikrohullámú Híradástechnikai Tanszék irányításával, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság támogatásával folyik. Számos hasznos beszélgetésért köszönettel tartozom Dr. Frigyes Istvánnak.

Irodalom

- [1] Dr. Gottwald, P.: A mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjai I. Híradástechnika XXXIX. évfolyam 12. sz., 1988. december, 529—535.
- [2] Dr. Gottwald Péter: Mikrohullámú félvezető eszközök. Műszaki könyvkiadó, 1985. Budapest.
- [3] Kurokawa, K.: Injection Locking of Microwave Solid-State Oscillators. Proc. IEEE, 1973. Vol. 61., pp. 1386—1410.
- [4] Yen, H. W.: Optical Injection Locking of Si IMPATT Oscillators. Appl. Phys. Lett., 1980. April, Vol. 36. pp. 680—683.
- [5] Kiehl, R. A.—Eernisse, E. P.: Control of TRAPATT Oscillations by Optically Generated Carriers. IEEE Trans. on El. Dev., 1977. March, Vol. ED-24., pp. 275—277.

[6] *Seeds, A.J. — Forrest, J.R.*: Initial Observations of Optical Injection Locking of an X-Band IMPATT Oscillator. *El. Lett.*, 1978. Dec., Vol. 14., No. 25., pp. 829—830.

[7] *Vyas, H.P. — et al.*: Leakage current enhancement in IMPATT oscillators by photoexcitation. *El. Lett.*, 1977. March, Vol. 13., No. 7. pp. 189—190.

[8] *Forrest, J.R. — Seeds, A. J.*: Analysis of the optically controlled Impatt (Opcad) Oscillator. *Solid-State and Electron Devices*, 1979. Sept, Vol. 3., No. 5., pp. 161—169.

[9] *Seeds, A.J. -et al.*: The Optical Control of IMPATT Oscillators. *J. of Lightwave Techn.*, 1987. March, Vol. LT—5., pp. 403—411.

[10] *Chin, C. — Freier, J.*: Frequency modulation of Impatt diodes by optical illumination. *IEE Proc.*, 1984. Febr., Vol. 131., Part I, pp. 28—30.

[11] *Daryoush, A.S. — Herczfeld, R.P.*: Optically controlled three terminal microwave PIN diode and its application. 1985. SBMO Int. 1. Microwave Symp., Campinas, paper No. 6.B.2., July, 1985.

[12] *Herczfeld, R.P. — et al.*: Optically controlled Microwave Devices and Circuits. *RCA Rev.*, 1985. Dec., Vol. 46., pp. 528—564.

[13] *Lee, T.P.*: Calculation of Out off Frequency, Breakdown Voltage and Capacitance for Diffused Junctions in Thin Epitaxial Silicon Layers. *IEEE Trans. on El. Dev.*, 1966. Dec., Vol. 13., pp. 881—896.

[14] *Penfield, P. — Sawyer, D.E.*: Ptotoparametric amplifier. *Proc. IEEE* 1965. Apr., Vol. 53., pp. 340—347.

[15] *Gottwald, P.*: Comments on „Photoparametric Amplifier”. *Proc. IEEE* 1968. August, Vol. 56., pp. 1355—1356.

[16] *Gottwald, P.*: Fotoparametrikus erősítők. *Híradástechnika*, 1968. március, 19. évf. 79—84. old.

[17] *Kulczyk, W. — Davis, Q. V.*: The Avalanche Photodiode as an Electronic Mixer in an Optical Receiver. *IEEE Trans. on El. Dev.*, 1972. Nov., Vol. ED-19., pp. 1181—1190.

[18] *Platte, W.*: Optoelectronic Microwave Switching. *IEE Proc.* 1985. April, vol. 132., Part I pp. 126—132.

[19] *Sayadian, H.A. -et al.*: Generation of Kilowatt/Kilovolt Broadband Microwave Bursts With a Single Picosecond Photoconductive Switch. *IEEE MTT's*, 1987. Las Vegas, Nev. Dig., pp. 649—652.

[20] *Auston, D.H.*: Picosecond optoelectronic switching and gating in silicon. *Appl. Phys. Lett.*, 1975. Febr., Vol. 26., pp. 101—103.

[21] *Darling, R.B.*: Analysis of Microwave Characteristics of Photoconductive IC Structures. *J. of Lightwave Techn.*, 1987. March, Vol. LT-5. pp. 325—339.

[22] *Andersonn, J. — Eng, S.T.*: Analysis of a High-Speed Laser-Controlled Microstrip Directional Coupler. *Sol.-State El.*, 1987. Jan., Vol. 30., pp. 133—137.

[23] *Hadjicostas, G. -et al.*: Optically controlled millimeter wave phase shifter in a metallic waveguide. *IEEE MTT's*, 1987., Las Vegas, Nev., Dig., pp. 657—660.

[24] *Herczfeld, P.R. -et al.*: Optical tuning and injection locking of dielectric resonator oscillator. *SBMO Conf. on Microwave Technology*, 1985. Campinas, Brasil. Dig., pp. 293—297.