

Félvezető eszközök és áramkörök optikai vezérlése

BÓDI TAMÁS, SZEKERES PÉTER

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
{botomi, szekeres-peter@freemail.hu}

Kulcsszavak: optikai-mikrohullámú keverés, oszcillátor optikai stabilizálása, fotoérzékeny eszköz, fotovoltaiikus hatás, FET modell

A fotonika és a mikrohullámú elektronika a fizika és a mérnöki tudomány leggyorsabban fejlődő ágainak egyike. A mikrohullámú elektronikai eszközök működési jellemzőinek optikai úton történő vezérlése számos lehetőséget nyújt optikai és mikrohullámú kommunikációs alkalmazások terén. Cikkünkben bemutatjuk, hogyan lehet optikai úton vezérelni az erre alkalmas félvezető eszközöket, az optikai vezérléssel milyen paraméterek változtathatóak meg és ismertetünk néhány lehetséges alkalmazást, valamint, hogy milyen félvezető eszközök alkalmasak optikai úton vezérelhető áramkörök létrehozására. Röviden bemutatjuk ennek fizikai okait is, majd a vizsgálataink céljára kiválasztott GaAs FET tranzisztor helyettesítő kapcsolásának felírásához szükséges mérési eljárást, és a mérések eredményét ismertetjük.

1. Az optikai vezérlésről

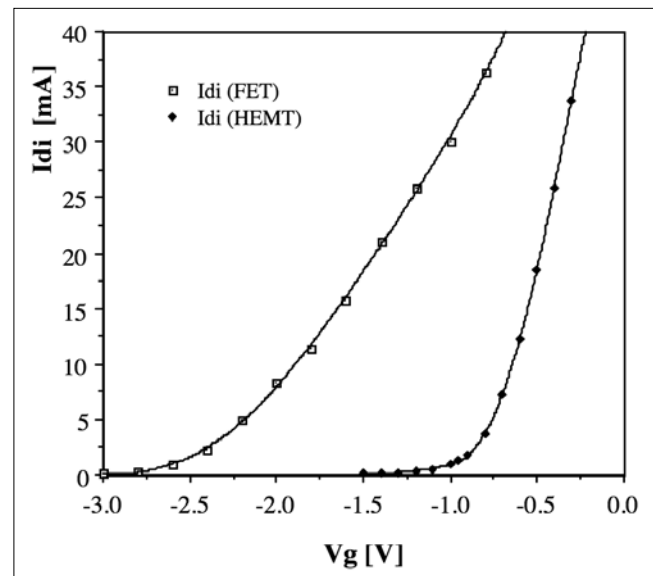
Az optikai vezérlés számos új lehetőséget teremt a mikrohullámú kommunikáció teljesítményének javítására. Optikai úton vezérelhetjük a mikrohullámú tranzisztorok erősítését, szabályozhatjuk az IMPATT oszcillátorokat. Alkalmazhatjuk fázisvezérelt antennasorok vezérlésére [17], az antennanyaláb irányítására [18], vevőmodulban koherens fázisú jel biztosítására a fáziszárt oszcillátor számára, olyan előnyös tulajdonságai miatt, mint a nagy sáv szélesség, rövid reakcióidő, interferencia nélkül mikrohullámú eszközökbe való integrálhatóság, kis veszteség és nem utolsósorban a kis fizikai kiterjedés. Ez az oka annak, hogy egyre nagyobb jelentősége van az optikailag vezérelhető félvezető eszközök, áramkörök és az előállításukhoz szükséges anyagok kutatásának. Az ez irányú érdeklődést növeli az új, nagy sebességű, elektrooptikai eszközök (lézerdiodák, modulátorok, kapcsolók...) elérhetősége és a még tökéletesebb mikrohullámú rendszerek kifejlesztése.

A mikrohullámú eszközök és áramkörök optikai vezérlése megvalósítható jó néhány fotoérzékeny eszköz segítségével. Ilyen célra legtöbbször GaAs alapú eszközöket alkalmaznak, amelyek lehetnek FET-ek, HEMT-ek, PIN diódák, IMPATT diódák [14-16]. Megvilágítás hatására a GaAs alapú eszközök mikrohullámú tulajdonságai megváltoznak. Így lehetőség van teljesítményerősítők linearizálására, torzításuk csökkentésére, de erősítés- és fázisszabályozás is megvalósítható. Oszcillátort is hangolhatunk optikai úton, és fényérzékeny mikrohullámú keverőket is táplálhatunk fényvívó segítségével [10,11].

Tranzisztorok optikai vezérlése

MESFET és HEMT eszközök elektromos tulajdonságai megváltoznak a fényhullámok abszorpciója következtében. Az eszköz aktív csatornája abszorbeálja a fényhullámokat, aminek következtében töltéshordozók

generálódnak. Ez a hatás függ az abszorpciós tényezőtől, a rekombináció átlagos időtartamától, a kisebbségi töltéshordozók diffúziójától, a kiürített tartomány szélességétől, és sok más tényezőtől. A fény elnyelődése megnöveli az eszköz drain-source áramát. A drain-source áram és a gate-source feszültség közötti tipikus összefüggést láthatjuk megvilágítás mellett az 1. ábrán FET és HEMT eszközök esetén. A két eszköz közötti különbség jól látható.



1. ábra

A drain-source áram és a gate-source feszültség közötti tipikus összefüggés megvilágítás mellett FET és HEMT eszközök esetén.

A két eszköz nemlineáris viselkedését írja le a következő egyenlet:

$$I_d = I_{dt} \cdot \left(1 - \frac{V_{g1}}{V_{p1}}\right)^2 \cdot \tanh\left(\frac{k \cdot V_d}{V_{g1} - V_{p1}}\right),$$

ahol V_{g1} a gate feszültség,
 V_{p1} a bekapcsolási (pinch-off) feszültség,
 I_d a drain-source áram,
 I_{dt} , V_d a drain-source feszültség.

$$V_{g1} = V_g + V_{1e}$$

$$V_{p1} = V_p - V_{1i}$$

A V_g a gate feszültség megvilágítás nélküli értéke, V_{1e} és V_{1i} jelenti a megvilágítás hatására megjelenő feszültségváltozásokat.

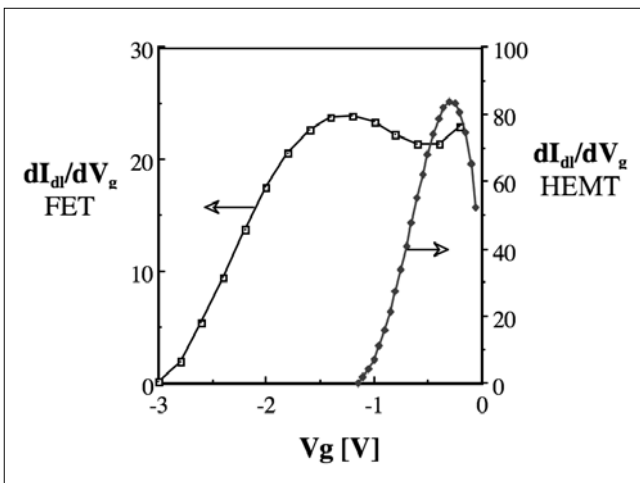
A nagyfrekvenciás drain feszültség (V_d) sorbafejtethető a nagyfrekvenciás gate feszültség (V_g) szerint:

$$V_d = b_0 V_g + b_1 V_g^2 + b_2 V_g^3 + \dots$$

A feszültségerősítésre (A) az alábbi egyenlet teljesül:

$$A = A_0 \cdot (1 + c_1 V_g + c_2 V_g^2 + \dots),$$

ahol A_0 a lineáris feszültségerősítés, c_1 és c_2 a másod- és harmadrendű teljesítménytörzítési tényező. Így az erősítés arányos a transzkonduktanciával, amit a drain-source áram deriváltja határoz meg. Ez a derivált látható V_g függvényében a 2. ábrán.



2. ábra
 A drain-source áram deriváltja, ez meghatározza a transzkonduktanciát, mellyel az erősítés arányos.

Mindkét esetben van a bemeneti feszültségnek olyan tartománya, amelyben a transzkonduktancia, és így az erősítés is szinte konstans értékű. A lineáris erősítési tartomány sokkal szélesebb FET esetén, mint HEMT esetén. Az optikai erősítés-szabályozásra elvégzett kísérletek [1] alapján 13 GHz-en HEMT esetében a megvilágítás hatására 0,5-2 dB-lel nő az erősítés **S21** amplitúdója (de a fázis nem változik). Így az eszköz alkalmas optikai jel detektálására, és az erősítés miatt a külső kvantum hatások 500%-os.

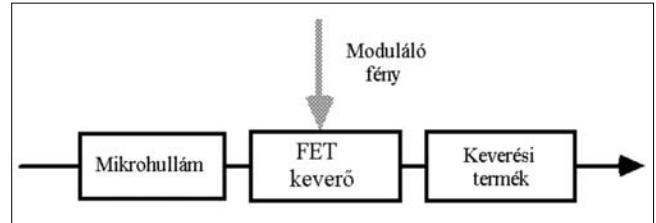
Mikrohullámú keverők optikai vezérlése

Mikrohullámú keverők optikai vezérlése esetén a lézer fényét moduláljuk a helyi oszcillátor jelével és ezt az optikai jelet vezetjük a keverőre. Ennek az elrendezésnek az a nagy előnye, hogy a helyi oszcillátor jele veszteségek nélkül nagy távolságra vihető el. A működési

elv alapján a megvilágítás megváltoztatja a MESFET transzkonduktanciáját. A transzkonduktanciát Fourier-sorba fejtvé a helyi oszcillátor frekvenciája (ω_0) szerint:

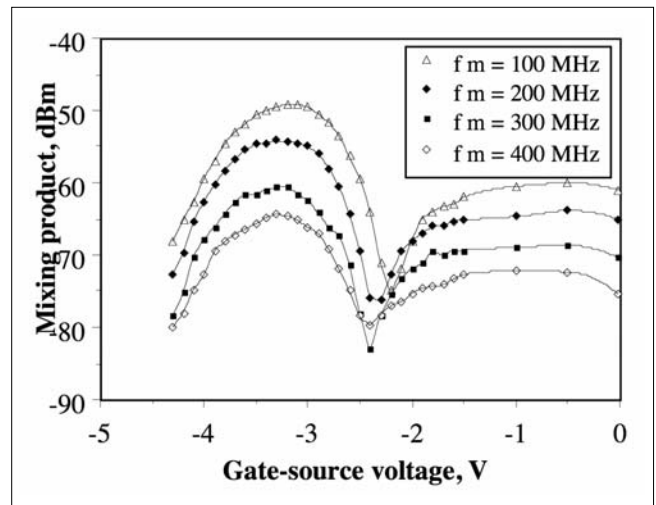
$$g_m = g_{m0} + g_{m1} \cdot \cos \omega_0 t + g_{m2} \cdot \cos 2\omega_0 t + \dots$$

A konverziós nyereség a transzkonduktancia első Fourier-komponensétől (g_{m1}) és a középfrekvenciás terheléstől (R_{IF}) függ. Egy ilyen keverő blokkdiagramját látjuk a 3. ábrán [1].



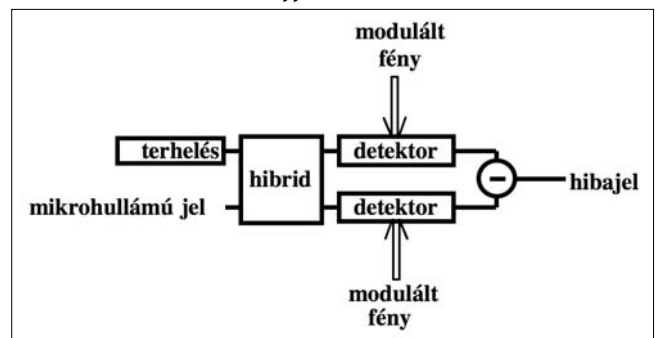
3. ábra
 Fényjellel vezérelt MESFET keverő blokkdiagramja

A mikrohullámú jelet a gate-re és a source-ra vezetjük, és a helyi oszcillátor jele a FET-re van vezetve a mikrohullámú jellel modulált optikai vivővel. A keverési termék a drain és a source között van. A 4. ábrán látható a keverési termék. Szintje a gate-source bázis feszültség függvénye, ahogyan az látható is, a bázis feszültség ott optimális, ahol a függvénynek maximuma van.



4. ábra
 A keverési termék a FET gate-source feszültségének függvényében. A görbék paramétere az eltolási frekvencia.

5. ábra Fényjellel vezérelt direkt fázisdetektor

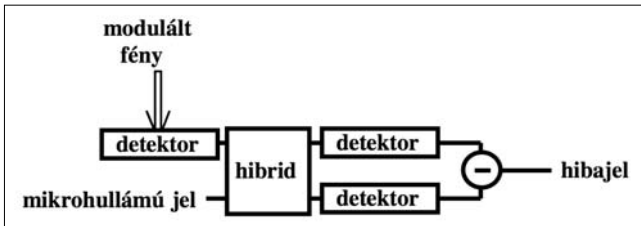


Optikai-mikrohullámú fázisdetektor

A fázisdetektorok két alaptípusát mutatjuk be a következőkben [6].

A direkt fázisdetektor blokkdiagramja az 5. ábrán látható. Ebben az esetben a mikrohullámú jelet két részre osztják egy hibriddel és a detektorokra vezetik, amelyek a modulált optikai jellel vannak megvilágítva. A detektált jelek különbsége képezi a hibajelet. Ennek az elrendezésnek az előnye, hogy ugyanazt az eszközt használjuk fel optikai és mikrohullámú detektálásra.

A 6. ábrán az indirekt optikai módon vezérelt fázisdetektor blokkdiagramját láthatjuk.

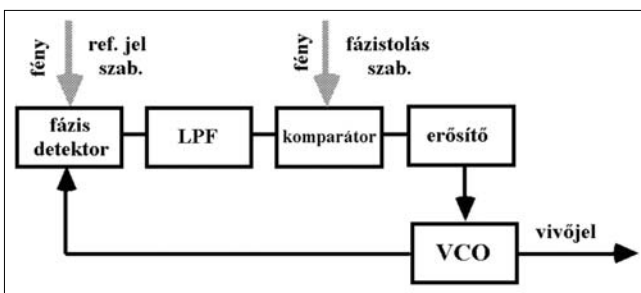


6. ábra Fényjellel vezérelt indirekt fázisdetektor

Ez esetben az optikai detekciót két külön eszköz végzi el és a mikrohullámú jelet az optikai detektorból kapjuk, így az optikai rész egyszerűbb, de a mikrohullámú rész összetettebbé válik. Az alkalmazott félvezető eszköz típusát a rendszerrel szemben támasztott követelmények határozzák meg. Jellemző követelmények az optikai csatolás hatásfoka, a frekvenciaválasz, az érzékenység, a zaj, és a linearitás.

Fáziszárt Mikrohullámú Monolit Integrált Áramkör (MMIC) oszcillátor optikai stabilizálása

A fáziszárt oszcillátorok optikai stabilizálása jól alkalmazható nagyobb távolságban történő mikrohullámú jelgeneráció esetén [6]. Egy optikailag stabilizált MMIC fáziszárt oszcillátort láthatunk a 7. ábrán.

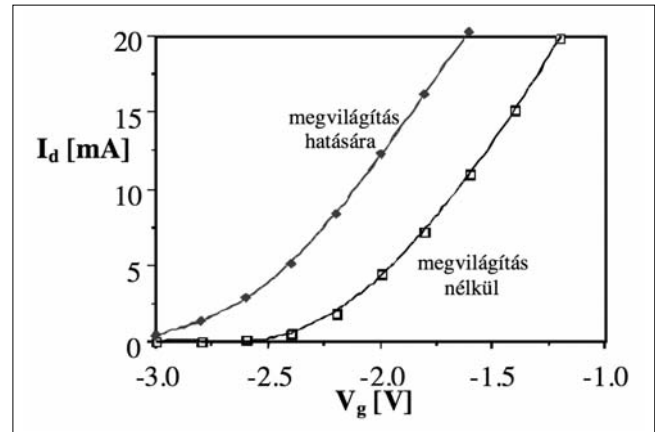


7. ábra Optikai úton stabilizált MMIC fáziszárt oszcillátor

Az optikai vivő intenzitását a referencia mikrohullámú jellel moduláljuk és a fázisdetektor megvilágítandó alkatrészeire ezt az optikai jelet vezetjük, amely a referenciajelet szolgáltatja a fázisdetekcióhoz. A fáziszárt hurok (PLL) szolgál az oszcillátor frekvenciájának stabilizálására. Az aluláteresztő szűrő (LPF) levágja az optikai átvitelből (lézerből) eredő, magasabb frekvenciájú relatív intenzitásait (RIN). Az ábrán látható, hogy a fázistolás is szabályozható optikai úton egy komparátor áramkör segítségével.

Megvilágított FET modellje

Megvilágítás hatására a FET tranzisztor helyettesítő áramkörében az egyes komponensek értékei módosulnak. A kapcsolat a megvilágító fény intenzitása és a komponens értékek megváltozása között egyedi. Először vizsgáljuk meg az I_d-V_g DC karakterisztikát. Az I_d-V_g DC karakterisztika a 8. ábrán látható megvilágítás nélkül és megvilágítás hatására.

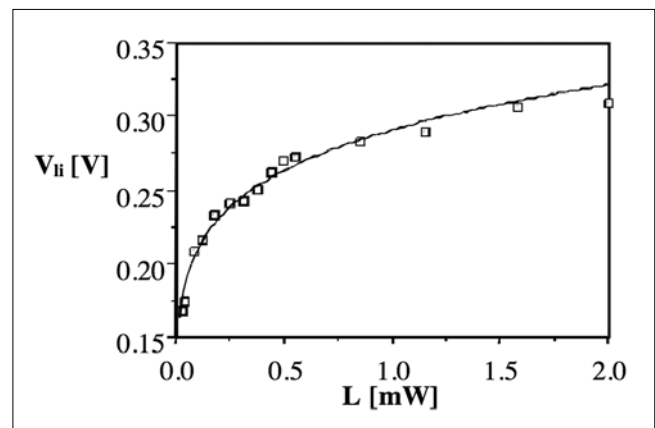


8. ábra Megvilágítás hatása a FET I_d-V_g DC karakterisztikájára

A feszültségekülönbség, amely a megvilágítás hatására adódik, az úgynevezett fény indukált feszültség V_{li} kifejezi a fotovoltaiikus hatást (a fotovoltaiikus hatást részletesen a 2. fejezetben tárgyaljuk). A görbe alakja nem változik a megvilágítás hatására. A drain-source áram (I_d) kifejezhető az eredeti munkaponttal az alábbi módon:

$$I_d = I_{d0} + a_1 V_{g1} + a_2 V_{g1}^2 + a_3 V_{g1}^3 + \dots,$$

ahol a_1, a_2, a_3 együtthatók a bázis feszültség és a gate-source feszültség függvényei, és $V_{g1} = V_g + V_{li}$. V_{li} függését a beeső fény intenzitásának (L) függvényében láthatjuk a 9. ábrán.



9. ábra Fotovoltaiikus feszültség függése a beeső fény intenzitásától

A két mennyiség közötti összefüggés a következő egyszerű képlettel adható meg:

$$V_{li} = c_{li} \cdot L^p,$$

ahol c_{ji} együttható, p tapasztalati úton meghatározott érték.

Hasonló feltételek mellett a fény-indukált feszültség HEMT esetén 0,57 V, MESFET esetén 0,24 V körüli ($P_{opt} = 1,7$ mW, $\lambda = 830$ nm) [4]. A drain-source áram növekménye diszkrét V_g értékekre 5 mA AlGaAs/GaAs HEMT esetén és 9 mA körül várható GaAs MESFET esetén. A fény-indukált feszültség független a gate-source és a gate-drain távolságtól, de függ az anyagi jellemzőktől. A MESFET esetén tehát nagyobb a drain áram növekménye, mert jobb a beeső fény és az aktív réteg közötti optikai csatolás hatásfoka.

A kapacitások

A kapacitás munkaponti értéke megváltozik a megvilágítás hatására, amit egy additív taggal jellemeznek:

$$C_l = C + C_{li},$$

ahol C_l a kapacitás értéke megvilágítás hatására, C a kapacitás értéke megvilágítás nélkül, C_{li} pedig a változást jellemző additív tag, amely a megvilágító fény intenzitásának függvénye, általában független a gate-source feszültségtől:

$$C_{li} = C_{lir} \cdot V_{li} / V_{lir},$$

ahol C_{lir} a kapacitásváltozás a V_{lir} referenciaértéken. [2] szerinti tipikus értékek: $C_{lir}^{(gs)} = 0,05$ pF, $C_{lir}^{(ds)} = 0,15$ pF.

Az ellenállások

A munkaponti ellenállásérték (R) szintén megváltozik egy additív taggal:

$$R_l = R + R_{li},$$

ahol R_l az ellenállás értéke megvilágítás hatására, R az ellenállás értéke megvilágítás nélkül, R_{li} pedig a változást jellemző additív tag, amely a gate-source feszültségtől és így a fény intenzitásától függ. Ezt a függést adja meg az alábbi egyenlet:

$$R_{li} = R_{lir} \cdot F_{li}(V_{gs}) \cdot V_{li} / V_{lir},$$

R_{lir} az ellenállás változás értéke a referencia V_{lir} feszültségen, $F_{li}(V_{gs})$ a gate-source feszültség függvénye. Az ellenállás-változás minden komponensre más és más. [2] szerinti tipikus értékek: $R_{lir}^{(gs)} = 5\Omega$, $R_{lir}^{(ds)} = 15\Omega$.

2. Fizikai alapok – a fényenergia átalakítása

A fényelnyelés az elnyelő közeg abszorpciós tényezőjének függvénye, és általában nem független a beeső fény hullámhosszától. Az egyes anyagokra jellemző hullámhossznál megnő, ettől a hullámhossztól kezdve az anyag elnyelővé válik. A beérkező fotonok nagy része a kölcsönhatás eredményeképpen szabad elektronokat kelt, amelyek fotoemisszióval a környező térbe kiléphetnek, vagy a félvezető közegben maradván elektromos vezetőképességét növelik, illetve abban fotofeszültséget gerjesztenek.

$$A \lambda_0 [\mu\text{m}] = \frac{1,24}{E_{gap} [eV]} \text{ kifejezés alapján olyan félvezető}$$

anyagok nyelnek el jó hatásokkal fotonokat az infravörös tartományban, amelyeknél az elektronok vegyérték- és vezetési sávját elválasztó, tiltott sáv szélessége $E_{gap} = 0,8 \dots 1,55$ eV közé esik [3]. Ilyen anyagok például a gallium-arszenid, indium-foszfid.

A vezetési sávba jutott elektronok és a vegyérték-sávban visszamaradt lyukak közvetlenül részt vehetnek az áramvezetésben. Ha egy ilyen anyagból készített félvezető tömböt két fémelektóddal látunk el, amelyeket feszültségforrással kötünk össze, megvilágítás hatására az átfolyó áram megnövekszik, majd annak megszűnésekor, egy idő múlva az eredeti sötétáram értékére esik vissza. A gerjesztett töltéshordozók élettartama meghatározza a cella megszólalási idejét, vagyis azt, hogy a cella meg tudja különböztetni két egymás után következő jelet. Minél rövidebb a töltéshordozók élettartama, annál rövidebb a válaszidő.

Ha a fény a félvezető anyagban kialakított p-n átmenetre esik, töltéshordozók gerjesztődnek, a p-n átmenetben jelenlévő töltés kettősréteg elektromos tere azonban szétválasztja a hordozó párokat, a lyukakat a p-, az elektronokat az n-oldal felé sodorja. Ezek a töltéshordozók hozzáadódnak a nyugalmi záróáramot létrehozó, termikusan generált töltéshordozók áramához. A p-n átmenetnek ezt a tulajdonságát *fotovoltaikus hatásnak* nevezzük. A fény által generált fotoáram a p-n átmenet sarkain megjelenő fotofeszültség hatásaként is felfogható. A fotofeszültség értékére kapjuk:

$$V_f = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{i_f}{i_0} + 1\right),$$

ahol i_f a fotoáram, i_0 a sötétáram. Záróirányban a fotoáram párhuzamosan fut a sötétárammal és független a feszültségtől. Ilyen üzemmódban tehát a fotoáram a beeső fényintenzitással arányos; az ilyen elven működő eszköz neve: fotodióda.

Felmerült a gondolat, hogy előnyös lenne egyetlen eszközben egyesíteni a fényérzékelés és a jelerősítés funkcióját. Ilyen eszköz a fototranzisztor. Egyetlen hátrányos tulajdonsága: az elérhető megszólalási idő hosszúnak bizonyul, így csak közepes frekvenciákig használható.

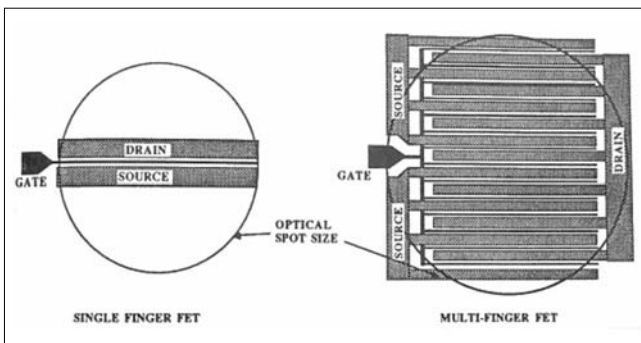
A félvezető lézerdiodák közvetlenül modulálhatóak mikrohullámú frekvencián, így megteremtik az erre alkalmas mikrohullámú eszközök közvetlen optikai vezérlésének lehetőségét. Ez pedig lehetővé teszi erősítőkből az erősítés szabályozását, fázistolókban a fázistolás mértékének beállítását, frekvencia hangolást és stabilizálást oszcillátorokban, valamint a keverést. Másik vonzó tulajdonsága, hogy nagymértékben lecsökkenti a jelosztó hálózatok méretét és komplexitását.

Megvilágítás hatására tehát megnő a félvezető anyag vezetőképessége a source és a drain között. A megvilágítással generált gate áram potenciálcsökkenést okoz a gate ellenálláson, ami pedig megváltoztatja a drain áramot a FET transzkonduktivitásán keresztül és megváltoztatja az ekvivalens kapcsolat néhány

elemének értékét. Az AlGaAs HEMT-tel elérhető sebesség nagyobb a [4] szerint, mint a hagyományos, nagysebességű GaAs MESFET-tel elérhető, ami köszönhető a két-dimenziós, nagy elektronmobilitású csatornának, amely heterostruktúrán jön létre.

A megvilágítás kritikus pontja a fény becsatolása a tranzisztorba [5]. A fénynek csak kis része jut a GaAs tranzisztor aktív tartományára (gate-jére), ezért a csatolás mértékét úgy lehet javítani, ha megnöveljük valamilyen módon az aktív tartomány felületét, vagyis a tranzisztor gate felületét. Multi-finger FET-et használva az aktív GaAs terület megnöveli a fényt abszorbeáló felületet.

A 10. ábrán egy hagyományos, single finger és egy multi-finger FET gate-jének összehasonlítását láthatjuk.



10. ábra Single finger FET – Multi-finger FET

3. Mérések tranzisztoron

A mérések és a szimulációk során felhasznált műszerek, eszközök és programok

- HP Network Analyzer 8722D
- HP Power Supply E3631A (2 db)
- HP Digital Multimeter 34401A
- HP VEE mérésvezérlő program
- APLAC 7.50 Student Version szimulációs program
- ATF 10136 FET
- RLT8505MG lézerdíóda

Az általunk kiválasztott tranzisztor a 0,5-12 GHz-es frekvenciatartományon kiszajú ATF 10136 GaAs FET, melynek gyártó által megadott paramétereit foglalja össze az 1. táblázat.

1. táblázat

Jellemző	Jel	Abszolút Maximum	Mértékegység
Drain-Source fesz.	V_{DS}	+5	V
Gate-Source fesz.	V_{GS}	-4	V
Gate-Drain fesz.	V_{GD}	-7	V
Drain áram	I_{DS}	I_{DSS}	mA

2. táblázat

Maximális értékek ($T_c=25\text{ °C}$)			
Jellemző	Jel	Érték	Mértékegység
Kimeneti opt. telj.	P_o	5	mW
LD nyitófesz.	$V_{R(LD)}$	2	V
PD nyitófesz.	$V_{R(PD)}$	30	V

Optikai-elektromos tulajdonságok ($P_o=5\text{ mW}$, $T_c=25\text{ °C}$)					
Jellemző	Jel	Min.	Tip.	Max.	Mértékegység
Küszöbáram	I_{th}	5	10	15	mA
Működési áram	I_{op}	15	20	25	mA
Működési fesz.	V_{op}	1,8	1,9	2,0	V
Működési hullámhossz	λ_p	845	850	855	nm
Nyaláb divergencia	$\theta_{ }$	8	10	11	°
Nyaláb divergencia	θ_{\perp}	25	30	40	°

3. táblázat

A megvilágításhoz egy RLT8505MG jelű GaAs ketős heterostruktúrás lézerdíódat használtunk, melynek meghajtásához előfeszítő áramkört terveztünk. A lézerdíóda paramétereit a 2 és 3. táblázatban láthatóak.

Az általunk választott lézerdíóda a 850 nm-es hullámhossztartományban működik. A GaAs eszközök (a megvilágítandó FET is ilyen) a magasabb hullámhossztartományokban is érzékenyek. Mi azért választottunk mégis 850 nm-es lézerdíódat, mert ebben a hullámhossztartományban a fotonok biztosan rendelkeznek annyi energiával, amennyi ahhoz szükséges, hogy az elektronok a félvezető anyag tiltott sávját át tudják lépni.

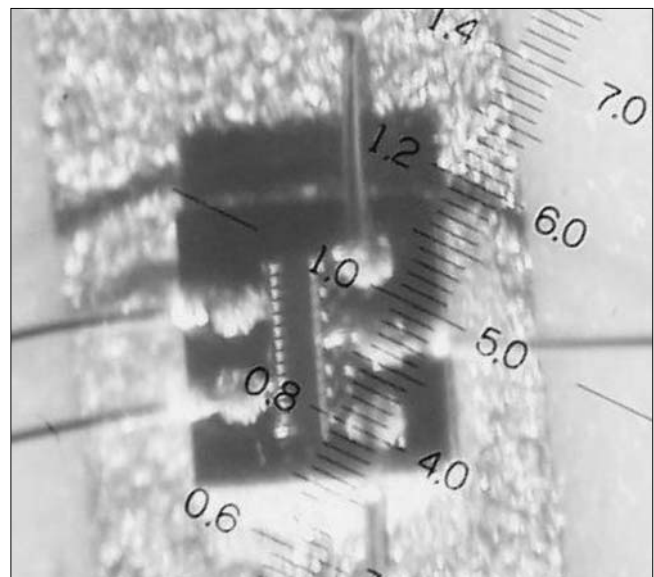
Mérési összeállítás

A lézerdíóda nyalábjának fókuszálását megvilágító berendezés segítségével végeztük, mely megfelelő lencserendszerrel és háromirányú finom-beállítási mechanikával és állványzattal rendelkezik.

A kiválasztott FET-et 50Ω-os tápvonalakkal ellátott mérőáramkörre forrasztottuk földelt source-os kapcsolatban. Ezután a mérőáramkört úgynevezett *test fixture*-re helyeztük, amely SMA csatlakozókkal rendelkezik. Az SMA csatlakozók a tranzisztor gate-jéhez és drain-jéhez kapcsolódnak az 50Ω-os tápvonalakon keresztül. Mivel a tranzisztor nem optikai alkalmazásra készült, ezért a mag megvilágításához a rajta lévő fedősapkát el kellett távolítanunk. Az így „kinyitott” tranzisztor magja a 11. ábrán látható.

11. ábra

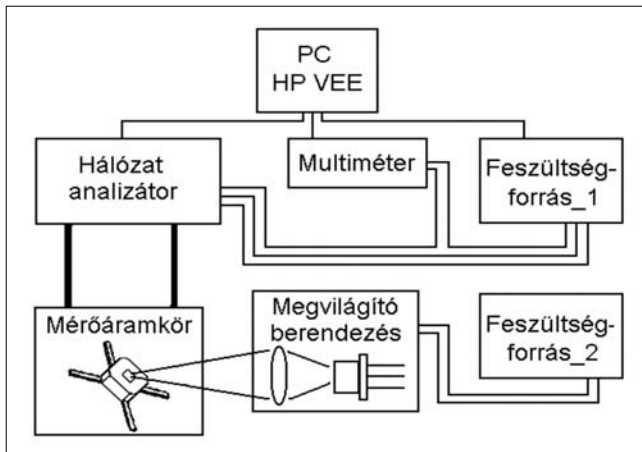
A „kinyitott” tranzisztor magja.
(A skálán egy osztás 0,02 mm-t jelent.)



A test fixture-t a megfelelő pozícióban fixen rögzítettük a megvilágító berendezés talapzatára, úgy hogy a „kinyitott” tranzisztor magja (a 11. ábrán is látható multi-finger gate) a megvilágítás fókuszában legyen.

Ezt követően csatlakoztattuk a hálózat analízátor mérőkarjait a test fixture SMA csatlakozóihoz. Az előfeszítéseket (V_{GS} , V_{DS}) a tápegységgel állítottuk elő és a hálózat analízátorba épített előfeszítő áramkör segítségével kapcsoltuk a tranzisztorra. DC karakterisztika felvétele során az előfeszítéseket változtattuk és az I_D áramot multiméterrel mértük. A HP hálózat analízátort az 50 MHz-től 3,05 GHz-ig terjedő frekvenciatartományban kalibráltuk. A lézer előfeszítéséhez egy másik HP tápegységet használtunk, amelyen a gyártói specifikációnak megfelelően 20 mA-es áramkorlátot állítottunk be a meghajtó áramra.

A mérések gyors és pontos elvégzését a HP VEE mérésvezérlő program tette lehetővé. A mérési elrendezés a 12. ábrán látható.



12. ábra A mérési összeállítás

A pontos fókuszálást a fókusz távolság állítási lehetőséget biztosító lencserendszer és a megvilágító egység három dimenziós finombeállító mechanikája teszi lehetővé. A beállítás során a fókuszpont pontos helyzetét a rendelkezésre álló infravörös detektorkártyán követtük nyomon.

DC karakterisztika mérése

A megvilágítatlan, illetve a megvilágított tranzisztor esetén kapott mérési eredmények a 13 és 14. ábrákon láthatóak.

A kapott eredmény megfelel a várakozásainknak, azaz változatlan drain-source feszültség melletti megvilágítás hatására az adott gate-source feszültségértékekhez tartozó drain-source áram megnő, az $U_{GS}-I_{DS}$ görbe jellegre valóban nem változik a megvilágítás hatására, csak a negatívabb gate feszültségek irányába tolódik el.

Két különböző U_{DS} feszültséghez tartozó $U_{GS}-I_{DS}$ karakterisztika megváltozását láthatjuk az ábrákon. Ez figyelhető meg a 15. ábrán is.

Szórás paraméterek mérése

Adott V_{DS} , V_{GS} értékpárok mellett valamennyi **S** paraméter amplitúdóját, illetve fázisát megmértük a HP hálózat analízátor segítségével. A kapott eredményeket az APLAC programmal elemeztük.

Várakozásainknak megfelelően megvilágítás hatására az **S21** és az **S22** paraméterek amplitúdói változnak meg a legnagyobb mértékben. A fázisváltozás jelentéktelen. Az **S21** amplitúdója akár 4-6 dB is csökken, míg az **S22** amplitúdója közel 10 dB-t is változik.

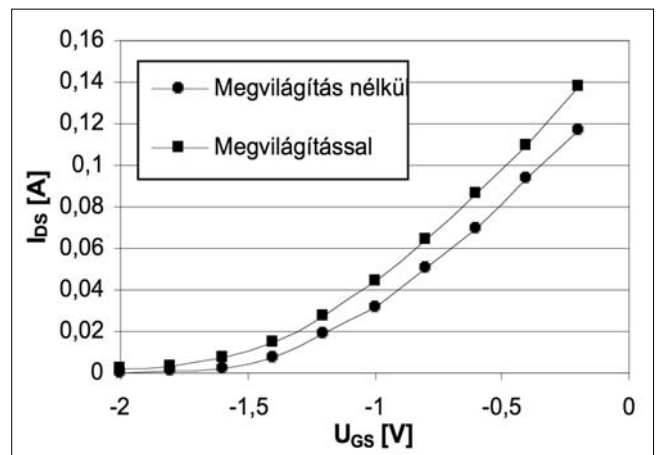
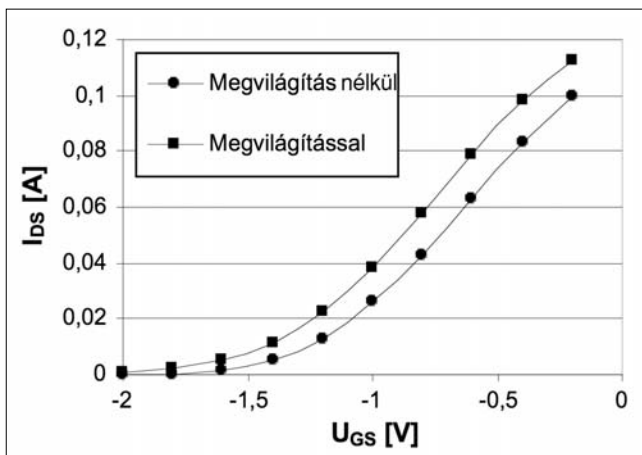
Ez látható a 16. és 17. ábrákon, melyek $U_{DS} = 1,4$ V, illetve $U_{GS} = -0,5$ V előfeszítés mellett mutatják a szórás paraméterek változását.

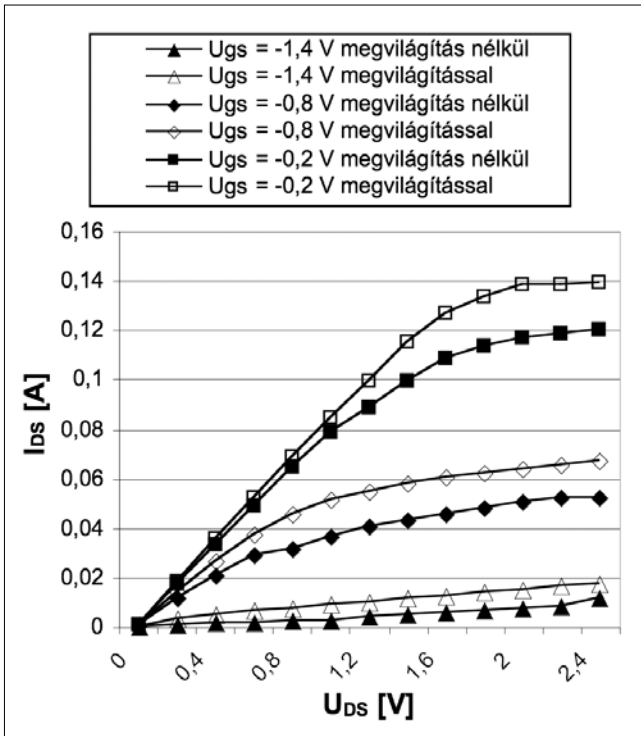
A megvilágítás hatása a pinch off, vagyis a bekapcsolási feszültség közelében jelentősebb. Ez azért lehet előnyös, mert manapság a félvezető eszközök fejlesztése az alacsonyabb fogyasztású, kisebb tápfeszültségű eszközök kutatása felé tendál.

A vizsgált FET-hez megfelelő modellt választva, a modell helyettesítő kapcsolását az APLAC programnak megadva, és az elemértékeket a mért **S** paraméterek alapján optimalizálva megkapjuk a vizsgált FET helyettesítő képét, amely a választott modelltől függően lehet lineáris, nemlineáris stb.

Például az általunk választott helyettesítő kapcsolat a 18. ábrán látható.

13-14. ábra $U_{GS}-I_{DS}$ karakterisztika változása a megvilágítás hatására $U_{DS}=1,4$ V és $U_{DS}=2$ V mellett

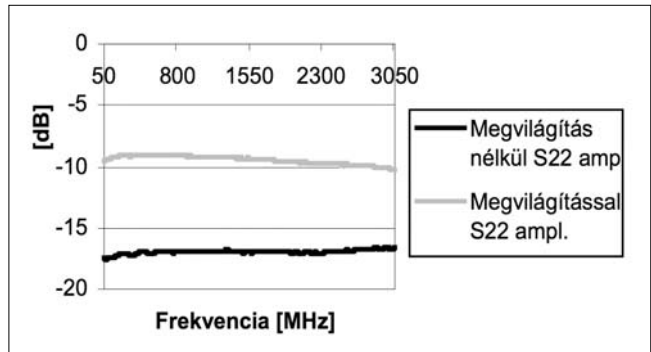
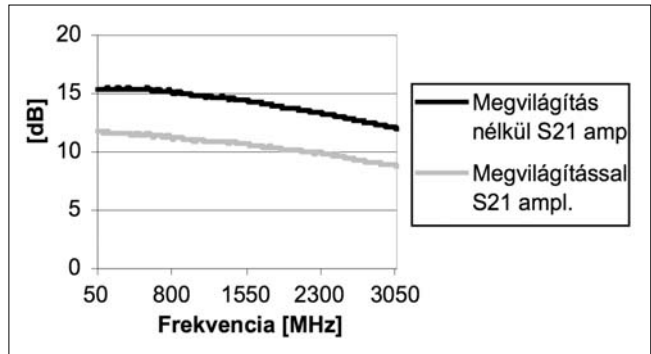
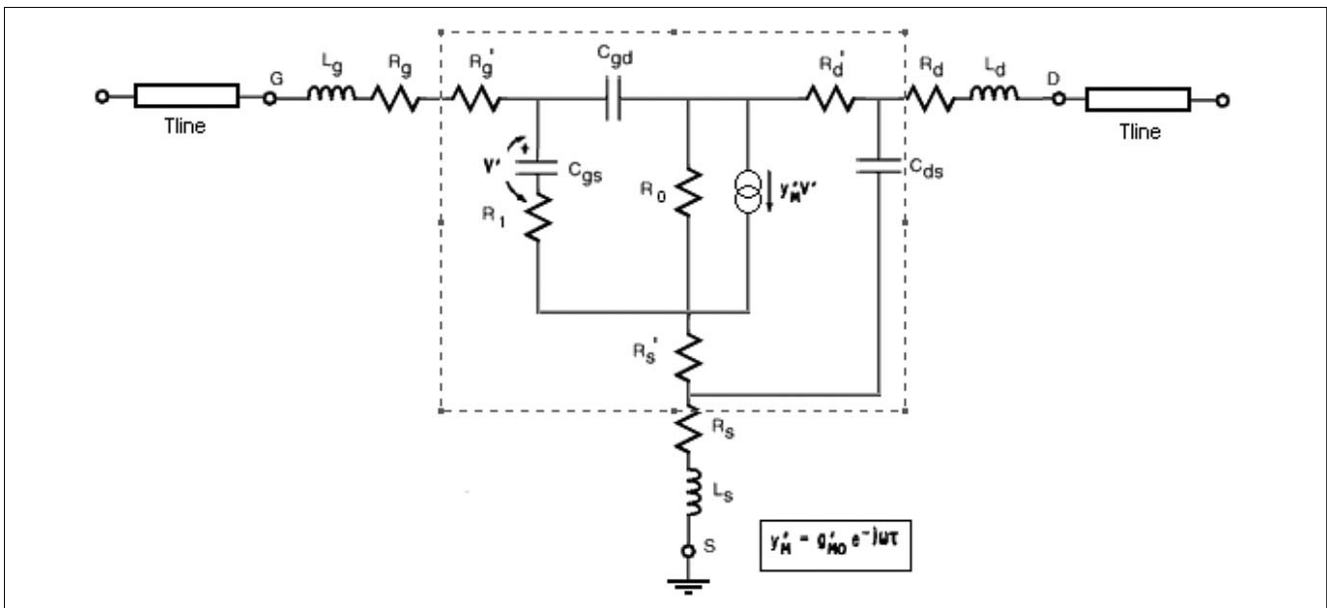




15. ábra
UDS-IDS karakterisztika változása megvilágítás hatására

A helyettesítő kapcsolás elemei $R_s, R_d, R_g, C_{gs}, C_{ds}$ és C_{gd} az eszköz fizikai felépítéséből következő paraméterek, melyek jellemzik rendre a source, drain és gate ellenállást, a gate-source, drain-gate és drain-source kapacitást. A bemeneteken látható R-L tagok a bondolás hatását jellemzik. A Tline tagok a mérőáramkör 50Ω-os tápvonalainak modelljei. Az Y_m' a transzadmittancia, melynek amplitúdója g_{m0}' , fázistolása τ . Az R_1 ellenállás a C_{gs} kapacitáshoz tartozó töltési ellenállás, R_0 a csatorna-ellenállás.

18. ábra
A választott általános nemlineáris helyettesítő kapcsolás



16-17. ábra
Az S21 és S22 paraméter amplitúdójának változása megvilágítás hatására

A helyettesítő kép segítségével megismerhetők a választott FET paramétereinek megvilágítás hatására történő változásai, és ez felhasználható optikai úton vezérelhető áramkör tervezésére.

4. Összefoglalás

Munkánk során mikrohullámú elektronikai eszközök működési jellemzőinek optikai úton történő változtatásával foglalkoztunk, amely számos új lehetőséget nyújt optikai és mikrohullámú kommunikációs alkalmazások terén.

Megterveztük és elkészítettük a kiválasztott FET megvilágításához szükséges lézer előfeszítő áramkörét és összeállítottuk a megvilágító berendezést. Méréseket végeztünk a megvilágított tranzisztoron, és a kapott eredményeket összevetettük a megvilágítás nélküli mérések eredményeivel. A kapott eredmények alapján elkészítettük a megvilágított tranzisztor nemlineáris helyettesítő kapcsolását.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA (No. T042557) kutatási programnak.

Irodalom

- [1] Dr. Berceli Tibor:
Optical control of microwave devices and circuits (belső tanulmány)
- [2] Dr. Berceli Tibor:
FET model under illumination (belső tanulmány)
- [3] Lajtha György, Szép Iván:
Fényátvklő rendszerek és elemeik, Akadémiai Könyvkiadó, Budapest 1973.
- [4] R. N. Simons:
Microwave performance of an optically controlled AlGaAs/GaAs high electron mobility transistor and GaAs MESFET, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. Vol. MTT-35, December 1987., pp.1444–1455.
- [5] P. R. Herczfeld, A. Paoella, A. Daryoush, W. Jemison:
Optical phase and gain control of a GaAs MMIC transmit receive module, Proc. 18th European Microwave Conference, Stockholm, Sweden, 1988.
- [6] T. Berceli, I. Frigyes, P. R. Herczfeld, B. Molnár, I. Pacher:
Optical control of microwave phase detectors and phase locked oscillators. 20th European Microwave Conference, Budapest, September 1990.
- [7] I. Kása, I. Frigyes:
Optical tuning of MESFET oscillator; functional model and equivalent circuit. 20th European Microwave Conf., Budapest 1990.
- [8] Dr. Berceli Tibor:
Optical-Microwave Phase Detection, Proceedings of IEE, J, Vol.139, No.4., Part I, August 1992., pp.296–300.
- [9] T.Berceli, A.Baranyi, A.Hilt, J.Ladvánszky:
Modelling electro-optical interaction in MESFETs. Journal on Communications, Vol.XLIV, No.7., pp.32–35., July 1993.
- [10] T. Berceli, B. Cabon, A. Hilt, G. Járó:
Improved Optical-Microwave Mixing Process Utilizing High-Speed Photo-diodes, Proc. 26th European Microwave Conference, Prague, September 1996., pp.125–129.
- [11] G. Járó, T. Berceli:
New High-Efficiency Optical-Microwave Mixing Approach Journal of Lightwave Technology, Vol.21, No.12., December 2003, pp.3078–3084.
- [12] T. Berceli:
Improved microwave-optical reception applying double amplification in photo transistors, IEEE MTT-S Intern. Microwave Symposium Digest, pp.1351–1354., Philadelphia, USA, June 2003.
- [13] Hilt, T. Berceli, E. Udvary:
Microwave Network Analysis Extended to Optical Systems, COMITE 2005, Proceedings of the 13th Conference on Microwave Techniques, Prague, September 2005. pp.320–323.
- [14] Hwee Har Lim, Alphones, A.:
Optical control on HEMT devices. Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE Volume 2, 8-13 July 2001, pp.518–520.
- [15] Rossek, S.J., Free, C.E.:
Optically controlled microwave switching and phase shifting using GaAs FET's. Microwave and Guided Wave Letters, IEEE [see also IEEE Microwave and Wireless Components Letters] Volume 5, Issue 3, March 1995, pp.81–83.
- [16] Rossek, S.J., Free, C.E.:
Optical control of microwave signals using GaAs FETs. Electronics & Communication Engineering Journal, Volume 6, Issue 1, Februar 1994, pp.2–30.
- [17] Vian, J., Popovic, Z.:
Efficient optical control of microwave circuits, antennas and arrays. Microwave Photonics, International Topical Meeting, 11-13 September 2000, pp.27–30.
- [18] Zuliani, M., Petosa, A., Ittipiboon, A., Roy, L., Chaharmir, R.:
Microstrip periodic leaky-wave antenna with optical control and beam scanning capabilities Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE Volume 2, June 2004, pp.183–1834.
- [19] Bijamov, A., Paroshina, I., Karkashadze, D.:
Simulation of optical control devices based on photonic band structures. Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory, DIPED 2003, Proc. of 8th International Seminar/Workshop, 23-25 September 2003, pp.59–62.
- [20] Y. Takanashi, K. Takahata, Y. Muramoto:
Characteristics of InAlAs/InGaAs High-Electron Mobility Transistors Under Illumination with Modulated Light. IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.46, No.12., December 1999, pp.2271–2277.