

# VYUŽITIE AKUSTOELEKTRICKÉHO JAVU NA SVETLOM GENEROVANOM ROZHRAŇÍ VO VYSOKOODPOROVÝCH POLOVODIČOCH K ŠTÚDIU HLBOKÝCH CENTIER

P. Bury, bury@fel.uct.sk, P. Hockicko, hockicko@fel.uct.sk, Katedra fyziky Elektrotechnickej fakulty Žilinskej Univerzity

## ÚVOD

Akustoelektrický jav na svetlom generovanom rozhraní vo vysokoodporovom GaAs polovodiči je efektívnou metódou pri štúdiu hlbokých centier [1], ktoré hrajú dôležitú úlohu v polovodičoch používaných v optoelektronických súčiastkach. Táto metóda v spojení s technikou akustickej tranzientnej spektroskopie (A-DLTS) [2] môže poskytnúť dodatočnú informáciu o charaktere hlbokých centier vo vysokoodporových polovodičoch študovaných inými technikami [2-5].

V predloženej práci sa popisuje technika akustickej tranzientnej spektroskopie využívajúca nehomogenity vytvorené nerovnomerným osvetlením vysokoodporového GaAs. V závislosti na tvare rozhrania nehomogenity, orientácii priloženého vf elektrického poľa môže byť na nej generovaná pozdĺžna (L), rýchla priečna ( $T_1$ ), pomalá priečna ( $T_2$ ) alebo povrchová akustická vlna (SAW) [6].

Základná myšlienka použitej akustickej tranzientnej techniky spočíva v analýze amplitúdy detekovaného akustoelektrického signálu generovaného rozhraním nehomogenity pri naložení vf poľa po vypnutí osvetlenia, čím sa sleduje časová zmena koncentrácie nerovnovážnych nosičov náboja pri prechode z nerovnovážneho stavu do stavu termodynamickej rovnováhy. Relaxačné procesy prebiehajúce pri návrate skúmaného systému do stavu termodynamickej rovnováhy sú pritom doprevádzané zaplňovaním alebo vyprázdňovaním pascí tvorených hlbokými centrami.

Pri štúdiu hlbokých centier vo vysokoodporovom GaAs boli využité rôzne akustické vlny s rôznymi polarizáciami a smerom šírenia, pričom bola aplikovaná technika akustickej tranzientnej spektroskopie (A-DLTS) a získané A-DLTS spektrá sú vzájomne porovnávané.

## EXPERIMENTÁLNY PRINCÍP

Osvetlená časť vysokoodporového polovodiča slabou absorbovaným svetlom vhodnej vlnovej dĺžky produkuje voľné nosiče náboja. Uvoľnené nosiče menia v osvetlenej časti polovodiča obsadenie záchytných centier buď ich vyprázdnením alebo zaplnením. Keďže nerovnovážne nosiče môžu migrovať z osvetlenej časti polovodiča do neosvetlenej časti, zmení sa elektrická neutralita v polovodiči a to vedie k vytvoreniu oblasti nehomogénneho priestorového náboja vytvárajúcej elektrické pole. Po vypnutí osvetlenia systém prechádza z nerovnovážneho stavu do stavu termodynamickej rovnováhy.

Koncentrácia nosičov náboja vo vodivostnom pásme je určená koncentráciou rovnovážnych nosičov náboja  $n_0$  a nerovnovážnych nosičov náboja  $\Delta n$ . Pre časovú zmenu nerovnovážnych nosičov náboja platí [7]

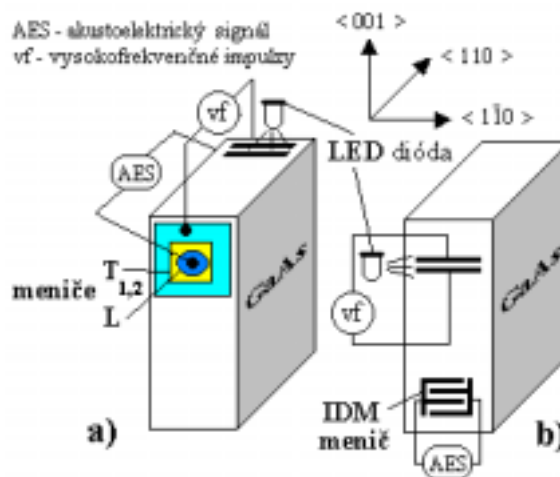
$$\Delta n(t) = \Delta n_{to} e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1)$$

kde  $\Delta n_{to}$  predstavuje zmenu obsadenia hlbokých centier v dôsledku akustoelektrického poľa a  $\tau$  je časová konštanta súvisiaca s uvoľnenými nábojmi z hlbokých centier po vypnutí osvetlenia. Amplitúda detekovaného akustoelektrického signálu, ktorá je úmerná koncentrácii nerovnovážnych nosičov, sleduje po vypnutí osvetlenia časovú zmenu koncentrácie nerovnovážnych nosičov náboja pri prechode z nerovnovážneho stavu do stavu termodynamickej rovnováhy.

Využitím dobre známeho vzťahu vyjadrujúceho teplotnú závislosť relaxačného času charakterizujúceho akustické tranzienty [7], môžeme potom určovať aktívnu energiu, hustotu pascí a príslušné účinné prierezy.

## EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Experimentálne zariadenie a princíp A-DLTS ako i technický popis počítačového vyhodnotenia izotermických akustoelektrických tranzient použitých v tejto práci pre zistenie parametrov hlbokých centier boli už popísané skôr [2,8].

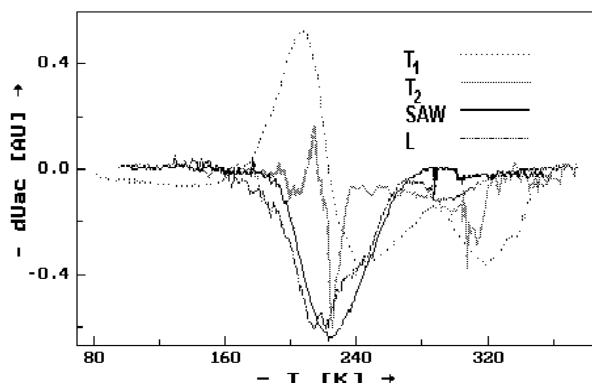


Obr. 1. Vyšetovanie vysokoodporového Cr-dopovaného GaAs priečnymi ( $T_{1,2}$ ), pozdĺžnymi (L) [a] a povrchovými akustickými vlnami (SAW) [b]

Na vyšetovanie vysokoodporovej Cr dopovanej GaAs vzorky pripravenej Czochralského LEC metódou o rozmeroch  $18 \times 12,5 \times 55 \text{ mm}^3$  bol použitý svetelný excitačný impulz šírky 200 ms, ktorý bol generovaný pomocou infračervenej LED diódy s maximom pri vlnovej dĺžke 900 nm.

Rýchle a pomalé priečne akustické vlny ( $T_1$  a  $T_2$ ) ako i pozdĺžne akustické vlny (L) frekvencie 13 MHz

boli generované využitím akustoelektrického efektu na svetlom vytvorenej priestorovej nehomogenite náboja pomocou dvoch elektród napájaných vF generátorom vytvárajúcim elektrické pole v smere <110>. Na detekciu akustoelektrického signálu (AES) sa používal priečny, resp. pozdĺžny kremenný menič. Povrchové akustické vlny (SAW) frekvencie 5 MHz boli generované v smere <001> a detekované pomocou interdigitálneho meniča (IDM).



Obr. 2. A-DLTS spektrum Cr-dopovaného GaAs pre priečne ( $T_1$ ,  $T_2$ ), pozdĺžne (L) a povrchové akustické vlny (SAW)

Využitím metódy počítačového vyhodnotenia izotermických akustoelektrických tranzient a pomocou algoritmu kompresie údajov [2] boli určené A-DLTS spektrá a z Arrheniových grafov týchto spektier boli určované aktivačné energie a záchytné prierezy hlbokých centier.

Aktivačné energie a zodpovedajúce účinné prierezy určené z Arrheniových grafov sú zhrnuté v tabuľke 1.

Prehľad parametrov hlbokých centier detekovaných vo vysokoodporovom GaAs pre rôzne akustické vlny TAB. 1.

Smer šírenia	Polarizácia	Hlboké centrá	
		E [eV]	$\sigma$ [cm <sup>2</sup> ]
[110]	[001] ( $T_1$ )	1.28	$3.1 \times 10^{-4}$
		0.72	$2.4 \times 10^{-13}$
		0.47	$3.0 \times 10^{-15}$
		0.31	$4.8 \times 10^{-18}$
		0.27	$2.1 \times 10^{-18}$
		0.35	$1.7 \times 10^{-16}$
[110]	[110] ( $T_2$ )	0.22	$4.1 \times 10^{-18}$
		1.10	$1.6 \times 10^{-6}$
		0.79	$1.1 \times 10^{-11}$
[110]	[110] (L)	0.77	$1.7 \times 10^{-11}$
		0.32	$2.5 \times 10^{-17}$
[001]	(SAW)	0.71	$1.6 \times 10^{-9}$
		0.36	$1.9 \times 10^{-16}$

Viacero získaných energetických hladín hlbokých centier, ako už bolo diskutované skôr [1], je v zhode s hodnotami získanými inými technikami [9-11].

Porovnanie výsledkov získaných pre rôzne akustické vlny ( $T_1$ ,  $T_2$ , L, SAW) generované na tej istej vzorke a väčšinou tým istým rozhraním ( $T_1$ ,  $T_2$ , L) však naznačuje, že interakcia akustických vln a hlbokých centier závisí do značnej miery od smeru šírenia a polarizácie generovaných akustických vln. Súčasne generácia niektorých akustoelektrických signálov (L,

SAW) pre nepiezoelektrické smery poukazuje, že táto metóda je vhodná aj pre iné vysokoodporové polovodiče.

Ako ukazujú získané výsledky, prakticky len centrá s energiami 0,31-0,36 eV, ktoré sú typické pre GaAs dopované Cr [9,11], je možné pozorovať pri troch typoch akustoelektrického signálu ( $T_1$ , L, SAW). Centrá s energiami vyššími ako 0,72 eV boli pozorované pri iných troch typoch akustoelektrického signálu ( $T_1$ ,  $T_2$  a L). Centrum s energiou 0,71 eV bolo pozorované len využitím povrchových vln (SAW). Toto centrum bolo zistené už skôr inou SAW technikou a je tiež pripisované prítomnosti Cr [12]. Je zrejme, že v dôsledku piezoelektrických vlastností vlastností GaAs je na prítomnosť hlbokých centier najcitlivejším akustoelektrickým signálom  $T_1$ , ktorý pomohol identifikovať sedem rôznych hlbokých centier.

Ďalšie komplexnejšie štúdium týchto efektov a v spojení s inými technikami môže dať viacero ďalších informácií o hlbokých centrách.

## ZÁVER

Akustoelektrický jav pozorovaný na svetlom generovanom rozhraní môže byť využívaný v akustickej tranzientnej spektroskopii k štúdiu hlbokých centier vo vysokoodporových polovodičoch a môže dať dodatočné informácie týkajúce sa charakteru hlbokých centier.

POĎAKOVANIE: Autori ďakujú doc. RNDr. Ivanovi Turekovi, CSc. za poskytnutie vzorky a pánovi Františkovi Černobilovi za technickú pomoc. Táto práca bola čiastočne podporovaná Grantom č. 1/8308/01 Ministerstva školstva SR.

## LITERATÚRA

1. P. Bury, *Spectroscopy of Deep Centers in High Resistivity GaAs Using Light Beam Generated Interference* in Proc. 16<sup>th</sup> Int. Congress on Acoustics, Seattle, 1998 Volume I, pp. 431-432
2. P. Bury and I. Jamnický, *acta phys. slovaci* **46** 693-700 (1996).
3. A. L. Lin and R.M. Bube, *J. Appl. Phys.* **47**, 1859-1867 (1976).
4. P. M. Mooney, *J. Appl. Phys.* **54**, 208-213 (1983).
5. Y. Mita, S. Sugata and N. Tsukada, *Appl. Phys. Lett.* **43**, 841-843 (1983).
6. J. Bracinik and J. Štelina, *J. Appl. Acoustics* **44**, 369-374 (1995).
7. P. Bury, I. Jamnický: *Akustická spektroskopija hlbokých centier v polovodičoch*. Žilina, Edis 1999, 143 s.
8. P. Bury, I. Jamnický and V.W. Rampton, *Physica B* **263-264**, 94-97 (1999).
9. G. M. Martin, A. Mitonneau and A. Mircea, *Electronics Lett.* **13**, 191-192 (1977).
10. S. T. Pantalides, *Deep Centers in Semiconductors*, Gordon and Breach Science Publishers, ch.4, pp. 379-406 (1992).
11. F. Dubecký, J. Šafránková and B. Olejníková, *Crystal Properties & Preparation* **12**, 147-152 (1987).
12. B. Davari, P. Das, *J. Appl. Phys.* **53**, 3668-3672 (1982).