

## MEDŽIAGOS KONTRASTO PASISKIRSTYMO POKELSO NARVELIO KRISTALE TYRIMAS

Giedrius SINKEVIČIUS<sup>1</sup>, Algirdas BAŠKYS<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

*El. paštas: <sup>1</sup>g.sinkevicius@eksmaoptics.com; <sup>2</sup>algirdas.baskys@vgtu.lt*

**Santrauka.** Darbe pateikti BBO (angl. *Beta barium borate*) kristalų Pokelso narvelyje kontrasto be įtampos ir kontrasto su įtampa optimalios darbo zonos kristalo paviršiaus atžvilgiu tyrimų rezultatai. Aprašoma kontrasto matavimo schema, pateikta kontrasto matavimo metodika. Pateikti medžiagos kontrasto pasiskirstymo be įtampos kristalo paviršiaus atžvilgiu grafikai, kontrasto priklausomybės nuo įtampos, kontrasto priklausomybės nuo orientacijos nuokrypio bei kontrasto esant pusės bangos įtampai pasiskirstymo kristalo paviršiaus atžvilgiu grafikai. Tyrimai buvo atlikti su „Eksma Optics“ įmonės BBO Pokelso narveliu, kurio serijinis numeris S/N 13.1124. Gauti rezultatai pagrindžia Pokelso narvelio įtampos mažinimo efektyvumą.

**Reikšminiai žodžiai:** kietojo kūno lazeris, Pokelso narvelis, *Beta Barium Borate* kristalas, medžiagos kontrastas.

### Įvadas

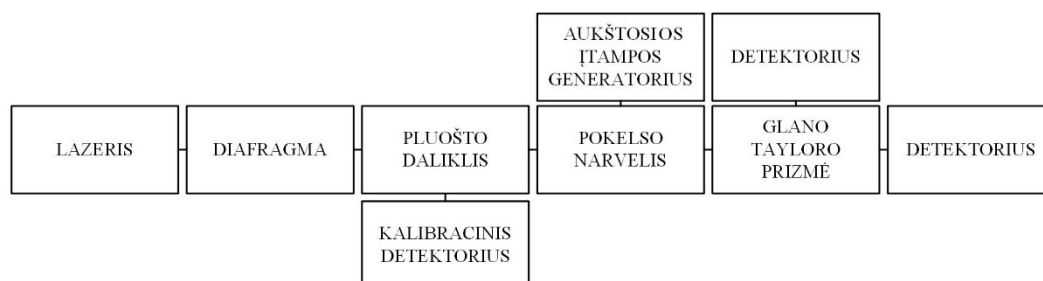
Pokelso narveliai naudojami lazeriuose kaip modulatoriai. Jų optinis medžiagos kontrastas labai dažnai nulemia lazerio išėjimo galią. Tikslas – ištirti Pokelso narvelio medžiagos kontrasto be įtampos (ang. *Intrinsic contrast ratio* (ICR) ir Pokelso narvelio medžiagos kontrasto esant įtampai (ang. *Voltage contrast ratio* (VCR) pokytį, kai lazerio spindulys kerta kristalo paviršių skirtingose vietose. Tyrimas orientuotas į kietojo kūno lazerius, tiriant Pokelso narvelių medžiagos kontrasto didinimo galimybes. Tyrimas atliktas su „Eksma Optics“ BBO S/N 13.1124 Pokelso narveliu.

### Metodika

Tyrimui pasirinktas „Eksma Optics“ BBO (angl. *Beta barium borate*) Pokelso narvelis. Medžiaga gerai praleidžia bangas, kurių ilgis nuo 500 nm iki 1100 nm, pasižymi

silpnu pjezoelektriniu efektu (gali būti naudojami aukštesniuose dažniuose iki 2 MHz), aukštu kontrastu (>1000:1) (Melnikov *et al.* 2013; Robert 2009). Pasirinktas Pokelso narvelis sudarytas iš dviejų 4×4×20 kristalų, kurių paviršiai padengti daugiasluoksnėmis, skaidrinančiosiomis dangomis (ang. *Anti-reflective coatings*). Pokelso narvelio pralaidumas esant 1064 nm bangos ilgiui yra >99,5 %.

Tyrimams suprojektuotas stendas Pokelso narvelių medžiagos kontrastui matuoti, jo struktūrinė schema pateikta 1 pav. Stendas sudarytas iš helio ir neono lazerio (spindulio skersmuo 1,5 mm), diafragmos, kurios skylės skersmuo 1 mm, nepoliarizuojančio pluošto daliklio, dviejų tarpusavyje sukryžiuotų Glano ir Taylora prizmių, Pokelso narvelio, aukštos įtampos generatoriaus ir trijų detektorių. Lazerio šviesa spinduliuojama per diafragmą, kuri garantuoja, kad spindulio skersmuo bus 1 mm. Nepoliarizuotas pluošto daliklis suskaido lazerio spindulio intensyvumą.



1 pav. Pokelso narvelio medžiagos kontrasto matavimo stendo struktūrinė schema

Fig. 1. Block diagram of Pockel's cells contrast measurement stand

Viena spindulio dalis patenka į kalibracinį detektorių, kita – į Glano ir Taylora prizmę. Kalibracinis detektorius skirtas lazerio galios svyravimams kompensuoti. Į Glano ir Taylora prizmę patenkanti lazerio spindulio  $p$  poliarizacija filtruojama, o  $s$  poliarizacija praleidžiama ir patenka į Pokelso narvelį. Jeigu prie Pokelso narvelio neprijungta aukštoji įtampa (elektrinis optinis elementas nėra veikiamas elektrinio lauko), spindulio poliarizacija nepasikeičia ir  $s$  poliarizacijos spindulys yra atspindimas į šoninį detektorių. Jeigu aukštoji įtampa prijungta prie Pokelso narvelio (elektrinis optinis elementas veikiamas elektrinio lauko), Pokelso narvelyje spindulys įgauna  $p$  poliarizaciją ir perejęs per Glano ir Taylora prizmę patenka į detektorių. Pokelso narvelis įdėtas į dviejų ašių pozicionavimo laikiklį. Visi trys detektoriai tiesiškai stiprina signalą. Žinant kiekvienos poliarizacijos intensyvumą, Pokelso narvelio kontrastą galima apskaičiuoti pagal šią formulę:

$$CR = \frac{I_{\max}}{I_{\min}}, \quad (1)$$

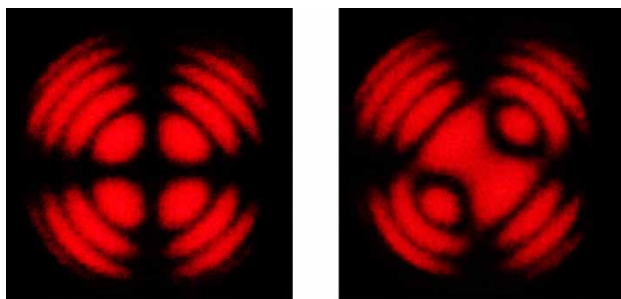
čia  $I_{\max}$  ir  $I_{\min}$  žymi didžiausiąjį ir mažiausiąjį optinio išėjimo signalo intensyvumą (Goldstein 1986).

Kiekvieno Pokelso narvelio matuojami du kontrastai: kontrastas be įtampos (ICR) ir kontrastas esant įtampai (VCR). Pusės bangos įtampa (įtampa, kuri reikalinga lazerio spindulio poliarizacijai pasukti per pusę bangos)  $\text{LiNbO}_3$  ir BBO Pokelso narvelių kristalams apskaičiuojama taip:

$$U_{\lambda/2} = \frac{\lambda d}{2r_{ij}n_o^3l}, \quad (2)$$

čia  $U_{\lambda/2}$  – pusės bangos įtampa, V;  $n_o$  – įprasto atspindžio rodiklis;  $r_{ij}$  – elektrinis optinis koeficientas,  $\mu\text{m}/\text{V}$ ;  $\lambda$  – bangos ilgis,  $\mu\text{m}$ ;  $d$  – atstumas tarp elektrodų;  $l$  – kristalo ilgis (Pockels *et al.* 2007; Maji, Mukhopadhyay 2012).

Pokelso narvelis, naudojant barstančiąją plokštelę, tvirtinamas taip, kad šviesa sklįstų per kristalo optinę ašį. Barstymas kristale iškreipia šviesą ir dėl šviesos interferencijos susidaro konoskopinės (angl. *Isogyre*) (Kawaguchi



a)

b)

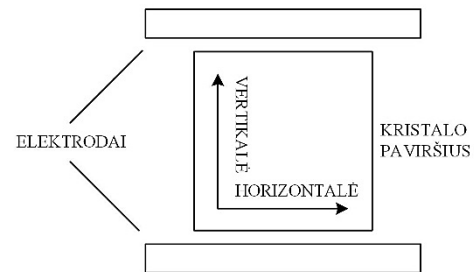
2 pav. Pokelso narvelio konoskopinės figūros:  
a – kai įtampa 0 V; b – kai įtampa 4,4 kV

Fig. 2. Conoscopic interference pattern of Pockel's cell:  
a – no voltage applied; b – with 4.4 kV applied

*et al.* 2009; Punin, Shtukenberg 2005) figūros (2 pav.). Pavėikus Pokelso narvelio kristalą elektriniu lauku, figūros forma kinta (2 pav., b). Norint gauti didžiausiąjį ICR ir VCR vertę, lazerio spindulys turi būti sutapatintas su figūros, nepaveiktos elektriniu lauku (2 pav., a), centru (Robert 2009).

## Rezultatai ir jų analizė

Tyrimo metu buvo keičiama lazerio spindulio pozicija Pokelso narvelio kristale vertikalių ir horizontalių elektrodų atžvilgiu, kaip tai parodyta 3 pav. Eksperimento metu buvo fiksuojamos  $I_{\min}$  ir  $I_{\max}$  vertės, vertikalės ir horizontalės koordinatės bei išmatuoti ICR ir VCR.



3 pav. Lazerio pozicija kristalo paviršiaus atžvilgiu

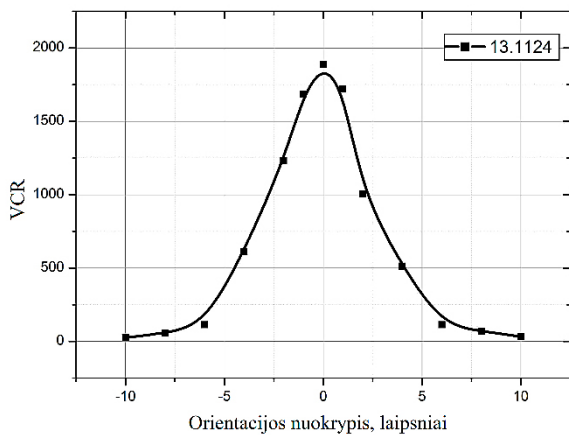
Fig. 3. Lasers position in respect to surface of the crystal

Norint rasti geriausią medžiagos kontrastą esant  $U_{\lambda/2}$  įtampai (VCR), reikia įsitikinti, kad lazerio poliarizacija yra statmena elektriniam laukui arba lygiagreti su juo. Tai sužinoma apskaičiavus  $U_{\lambda/2}$  įtampą pagal (2) formulę. Apskaičiavus gaunama, kad  $U_{\lambda/2} = 4,345$  kV. Patiekus įtampą į Pokelso narvelio kristalą ir sukant jį apie savo ašį yra fiksuojamas kontrastas (4 pav.). 4 pav. matyti, kad jis priklauso nuo elektrinio lauko ir lazerio šviesos poliarizacijos kampo.

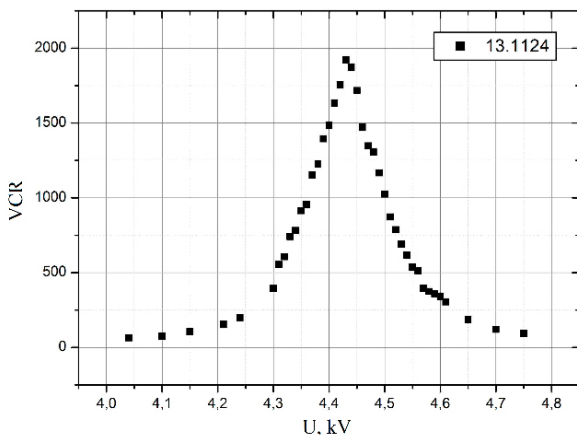
Elektrinio optinio elemento medžiagos kontrasto vertė dviejų Taylora ir Glano prizmių sistemoje priklauso nuo elektrinio lauko stiprio. Vertės pokyčiui sužinoti vykdomas toks eksperimentas – nekeičiant Pokelso narvelio pozicijos, keičiama įtampa nuo 4,05 kV iki 4,75 kV ir fiksuojamas kontrastas (5 pav.).

Iš 5 pav. pateikto grafiko matyti, kad didžiausioji kontrasto vertė gaunama esant 4,43 kV, o ne ties anksčiau suskaičiuota 4,345 kV verte. Tai atsitinka dėl kristalo matmenų neapibrėžčių, netolygaus elektrodo paskirstymo ant kristalo šoninio paviršiaus.

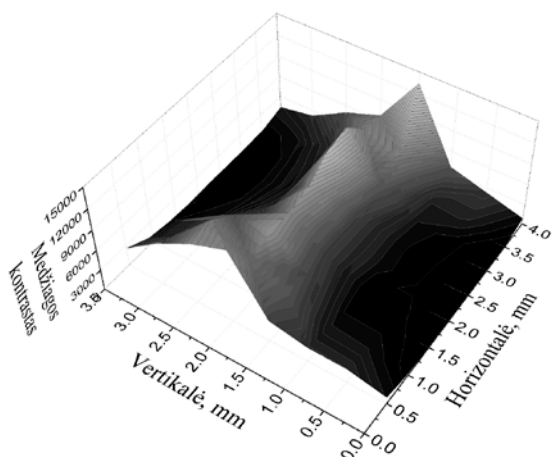
Teisingai pagal optinį kryžių įmontavus narvelį įsitikinama, kad lazeris per centrą kerta abu Pokelso narvelio kristalus. Keičiant koordinatas fiksuojamas medžiagos kontrastas, kai elektrinis optinis elementas neveikiamas



4 pav. Eksma optics S / N 13.1124 Pokelso narvelio kontrasto priklausomybė nuo orientacijos nuokrypio  
 Fig. 4. Dependence of Eksma optics S / N 13.1124 Pockel's cell contrast on roll angle



5 pav. Eksma optics S / N 13.1124 Pokelso narvelio kontrasto priklausomybė nuo įtampos esant 1064 nm bangos ilgiui  
 Fig. 5. Dependence of Eksma optics S / N 13.1124 Pockel's cell contrast on applied voltage at 1064 nm wavelength



6 pav. Medžiagos kontrasto (ICR) priklausomybė nuo patenkančio į kristalą lazerio spindulio pozicijos  
 Fig. 6. Dependence of contrast ratio on Pockel's cell crystal surface position

elektrinio lauko. Gautas medžiagos kontrasto intensyvumo grafikas pateiktas 6 pav.

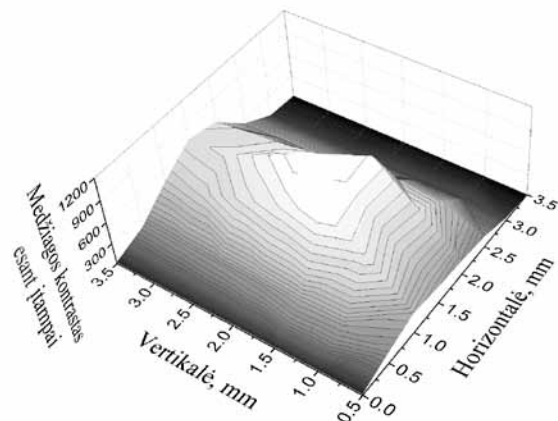
Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad Pokelso narvelis turi nevienodai tolygų medžiagos kontrastą. Jis geriausias tuomet, kada Pokelso narvelio kristalas lygiuotas kuo arčiau horizontalios linijos tarp elektrodų (6 pav.). Kontrasto pasiskirstymo grafike imties žingsnis – 0,5 mm. Kraštinės padėtys nėra rodomos nuo 0 iki 0,5 mm ir nuo 3,5 iki 4 mm, nes spindulys pradeda liesti kristalo šoninius paviršius. Lazerio spindulys, atsispindėjęs nuo šoninio paviršiaus, pakeičia pradinę kelio kryptį ir nepatenka į detektorius. Kuo didesnė spindulio dalis liečia šoninių paviršių, tuo daugiau lazerio spindulio intensyvumo prarandama. Todėl gautų kraštinės padėčių (nuo 0 iki 0,5 mm ir nuo 3,5 iki 4 mm) rezultatai yra neteisingi.

Kito eksperimento metu, nustačius įtampą ties didžiausiu kontrastu, keičiant vertikalią ir horizontalią Pokelso narvelio poziciją, fiksuojami kontrastai. Eksperimento rezultatai pateikti 7 pav.

Iš 7 pav. grafiko matyti, kad Pokelso narvelio medžiagos kontrasto pasiskirstymas esant įtampai yra kitoks nei kontrasto, kai įtampos nėra. Didžiausias kontrastas išmatuotas ties centrine linija statmenai elektrodams, nes centre elektrinis laukas yra statmenas ir užsilenkia ties kristalo kraštais. Pokelso efektas optimaliai veikia tuomet, kai į kristalą patenkančio lazerio spindulio poliarizacija yra statmena elektriniam laukui. Kitais atvejais kontrastas sumažėja.

### Išvados

1. Medžiagos kontrastas yra netolygiai pasiskirstęs medžiagos paviršiuje. Didžiausias kontrastas yra ties kristalo centru lygiagrečiai su elektrodais.



7 pav. Medžiagos kontrasto esant pusės bangos įtampai (VCR) pasiskirstymas Pokelso narvelyje  
 Fig. 7. Distribution of contrast ratio with voltage applied on Pockel's cells crystals on surface position

2. Medžiagos kontrastas esant įtampai yra pasiskirstęs netolygiai Pokelso narvelio paviršiaus atžvilgiu. Didžiausias kontrastas yra ties kristalo centru statmenai elektrodams. Tokius rezultatus lemia elektrinio lauko pasiskirstymas tarp elektrodų – kuo elektrinis laukas statmenesnis lazerio šviesos poliarizacijos atžvilgiu, tuo stipresnis Pokelso efektas.

## Literatūra

Goldstein, R. 1986. *Electro-optic devices in review* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. kovo 17 d.]. FastPulse Technology, Inc. Lasermetrics, 1–6. Prieiga per internetą: <http://lasermetrics.com/pdf/eodir.pdf>

Kawaguchi, M.; Takei, M.; Yamashita, M. 2009. Dynamic behaviors of ferroelectric liquid crystal molecules under an applied electric field, *Optical review* 16(2): 204–207. <https://doi.org/10.1007/s10043-009-0037-0>

Maji, R.; Mukhopadhyay, S. 2012. A method of reducing the half wave voltage ( $V_{\pi}$ ) of an electro-optic modulator by multi passing a light through the modulator, *Optic International Journal for Light and Electron Optic* 123(12): 1079–1081. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2011.07.035>

Melnikov, K.; Biryuchinskiy, S.; Melnikov, V. 2013. Improvement of Q-switch operation for medical solid-state laser systems, in *2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*, 7–9 April 2013, Minsk, Belarus, 425–428.

Pockels, A.; Scanners, S. C.; Couplers, D. D.; Retarders,

A.W. 2007. Electro-optics, Chapter 20 in B. E. A. Saleh, M. C. Teich (Eds.). *Fundamentals of photonics*. John Wiley & Sons, Inc, 834–872.

Punin, Y. O.; Shtukenberg, A. G. 2005. Anomalous crystal optics of heterogeneous crystals, *Crystallography Reports* 50(2): 297–307. <https://doi.org/10.1134/1.1887905>

Robert, L. G. 2009. *User's guide for BBO, KD\*P, RTP & Lithium niobate q-switches & modulators for q-switching, chopping & pulse extraction* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. kovo 17 d.]. FastPulse Technology, Inc. Lasermetrics, 1–16. Prieiga per internetą: <http://www.fastpulse.com/pdf/eomgenl.pdf>

## INVESTIGATION OF POCKELS CELLS CRYSTAL CONTRAST RATIO DISTRIBUTION

G. Sinkevičius, A. Baškys

### Abstract

The BBO Pockel's cell has been investigated. The investigation results of optimal operating area on the surface of the crystal dependent of intrinsic contrast ratio (ICR) and voltage contrast ratio (VCR) for Pockel's cell are presented. The block diagram of Pockel's cells contrast measurement stand and measurement methodology are introduced and discussed. The graphs of intrinsic contrast ratio distribution on crystal surface, contrast ratio with voltage dependency and voltage contrast ratio distribution on crystal surface with half-wave voltage are presented.

**Keywords:** solid state laser, Pockel's cell, intrinsic contrast ratio, Beta Barium Borate cristal.