

АСПАПТАР ЖӘНЕ ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕХНИКАЛАРЫ ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

ӘОЖ 533.9.01

Ә.Ү.Үмбетов, Б.С.Садықова

*Б.Алтынсарин атындағы Арқалық мемлекеттік педагогикалық институты
(E-mail: umbetov.a@mail.ru)*

Лазерлік өлшегіш құралдар

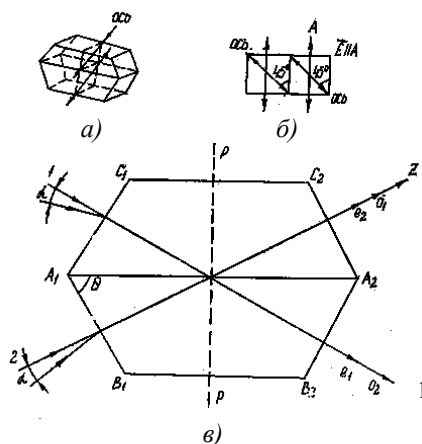
Кристалды-оптикалық жүйелердің негізінде лазерлік өлшегіш құралдарды құрастыру когерентті оптика мен электрониканың заманауи қолданыстарының мысалы болып табылады. Ондай жүйелердің беретін поляризациялық жарықтар интерференцияларының қасиеттерін пайдалана отырып, әр түрлі мақсаттарда қолданылатын лазерлік өлшегіш құралдарды құрастыруға болады. Мақалада осы мақсатты іске асыруға бағытталған лазерлік өлшегіш құралдарды құру жұмысы баяндалған. Сонымен қатар бір осьті кристалдан жасалған биполяризаторда (БП) таралатын электромагнитті толқындарды есептеу әдісі келтірілген. БП қасиеттерін талдауға ыңғайлы өрнектер алынған. БП беретін интерференциялық жолақтардың кеңістік жиілігінің БП-ның кіріс қабырғасына лазер сәулелерінің түсу бұрышына тәуелділігі белгіленген.

Кілтті сөздер: лазер, құралдар, биполяризациялар, призма, интерферометр.

Мақаланың мақсаты — бір осьті кристалдың негізінде жасалынған әр түрлі призмалар мен линзалардың көмегімен лазерлік өлшегіш құралдарды құрастыру және оларды тәжірибеде қолдану. Бұрын бір осьті кристалдардан құралған призмалар (Рошон, Сенармон, Воллостон т.с.с.) негізінде табиғи жарық көздері қолданылған поляризациялық интерферометрлер қолданылған [1–3]. Олардың мақсаттары және беретін нәтижелері басқаша. Ұсынылған жұмыстағы лазерлік өлшегіш құралдардың жұмыс істеу принципі жетілдірілген және жарық көзі ретінде лазерлер қолданылатындықтан, интерференциялық суреттердің айқындылығы мен сезімталдығы өте жоғары.

Жұмыстың міндеттері әрбір лазерлік өлшегіш құралдардың жұмыс принциптеріне жеке тоқталып олардың қолданылу бағыттарын көрсету болып табылады.

Исланд шпатынан (CaCO_3) жасалынған бір осьті кристалдардың көмегімен әр түрлі линзалар немесе призмалар құрастыруға болады. Бұл элементтер өз кезегінде әр түрлі мақсаттағы лазерлік өлшегіш құралдарын құруға мүмкіндік береді. Солардың бірі биполяризатор (БП). БП (1-сур., а) — қабырғалары бірдей трапеция тәріздес бір осьті кристалдан жасалынған екі призманың жиыны (Доуве призмасы).



1-сурет. Биполяризатор құрылысы: а — жалпы түрі; б — P жазықтықтағы қимасы; в — биполяризатордағы o (кәдімгі) және e (кәдімгі емес)-сәулелердің өту схемасы

БП үлкен негізі (A_1A_2) сыну көрсеткіші $n_e < n_k < n_0$ аралығындағы желіммен жапсырылған. Құрамды призмалардағы оптикалық осьтер призма негізіне перпендикуляр орналасқан, өзара параллель және жапсырылған жазықтықпен 45° бұрыш құрайды (1-сур., б). Оптикалық осьтердің осылай орналасуы лазерлермен жұмыс істеуге ыңғайлы. Лазер сәулесінің E векторы вертикаль бағытталған жағдайда (A қабырғасына параллель) $A_1 C_1$ қабырғасына нормаль түскен бірінші лазер сәулесі o - және e -сәулелерге жіктеледі. O -сәулесі желім қабатынан толық ішкі шағылуға ұшырайды. Екінші лазер сәулесі A_1B_1 қабырғасына түссе, e -сәулесі z осі бойымен тарайды. O - және e -сәулелері БП шығысында интерференцияланады. БП қандай да бір α аз бұрышқа бұрсақ, o -және e -сәулелер БП шығысында ығысуға ұшырайды. Анализатордың көмегімен o -және e -сәулелерінің тербелісін бір жазықтыққа келтіргенде интерференция құбылысы пайда болады. Бұл кезде БП бұрылу бұрышы келесі өрнекпен анықталады:

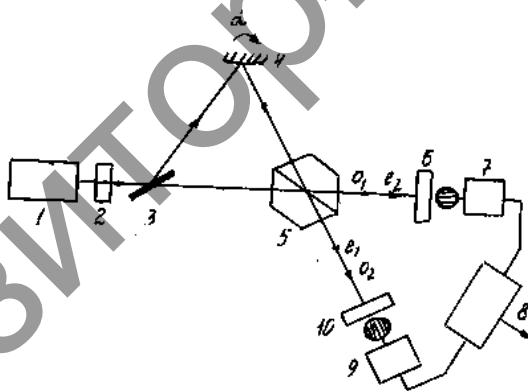
$$\alpha \leq \frac{r \operatorname{ctg} \theta}{\left\{ e + 2\alpha \cos \theta \left(\frac{1}{n_e} - \frac{1}{n_0} \right) \right\}^2 + \alpha^2 \sin^2 \theta \cos^2 \theta \frac{1}{n_e^2} \left(1 - \frac{n_e^2}{n_0^2} \right)^2 }^{1/2}, \quad (1)$$

мұндағы r — қабаттасқан сәулелер шеңберінің радиусы; $2a, l, \theta$ — БП параметрлері, жалпы негізінің ұзындығы, бүйір жағының ұзындығы, негізіндегі бұрыш (1-сур., в).

Исланд шпатынан жасалынған БП үшін $a = 12$ мм, $l = 11$ мм, $\theta = 65^\circ$. Сонда (1) өрнектен $r = 3$ мм болғанда $\alpha \leq 3^\circ$ мәнін аламыз. Интерференциялық сурет бір-бірінен қашықтықтары бірдей өзара параллель жолақтардан тұрады. Жолақтар БП қабырғасына параллель (A жазықтығына, 1-сур., б)

араларының қашықтығы $\Delta x = \frac{\lambda}{2\alpha}$ шамасындай болады, мұндағы λ — жарықтың толқын ұзындығы.

Осы нәтижелер БП денелердің өте аз бұрышқа бұрылуын анықтау үшін қолдануға мүмкіндік береді. БП көмегімен екі каналды поляризациялық интерферометр құрастыруға болады (2-сур.). Бұл интерферометр дененің өте аз бұрышқа бұрылуын өлшеуге арналған.



2-сур. Денелердің өте аз бұрыштын бұрылуын өлшеуге арналған поляризациялық интерферометр

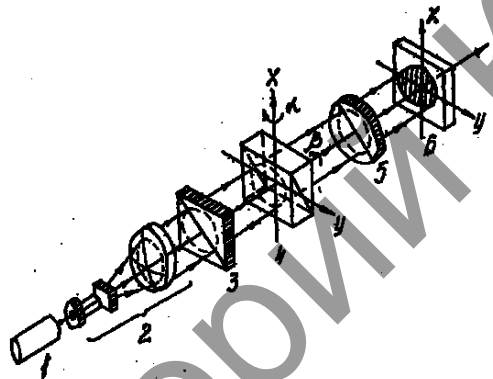
(1) лазерден шыққан жарық ағыны коллиматордан (2) өткен соң жарық бөлгіштен (3) интенсивтілігі бірдей екі сәулеге жіктеленеді. Бірінші сәуле жазық айнаға (4) қарай бағытталады, ол бақылынатын денеде орналасқан. Осы айнадан шағылып, БП (5) түседі. Екінші сәуле жарық бөлгіш (3) арқылы өтіп, ол да БП (5) түседі. Екі сәуле де БП қабырғаларына нормаль бағытта түседі. БП шығысында o_1, e_2 және e_1, o_2 сәулелердің арасында екі өлшегіш жолдар бағытында фотоараласу жүргізіледі. Ол үшін интерферометрдің екі жолына (6) және (10) екі анализаторлар қоямыз. Бұл анализаторлар осьтері бойынша БП қабырғасына перпендикуляр орнатылады. (7) және (9) фотоқабылдағыштар екі жолдағы сигналдарды тіркейді. (4) жазық айнаны сәл бұрған сәтте поляризациялық интерферометрдің екі жолындағы интерференциялық жолақтар өзара ығысады. Сигналдар айырымы дифференциалды күшейткішпен (8) тіркелінеді. Қондырғының сезімталдығы келесідей анықталады: өлшенетін бұрыштардың аралығы $\alpha \approx 1,5^\circ$ болғанда интерференциялық

жолақтардың ығысуы $\pm 0,1$ жолақ дәлдігімен өлшенгенде, бұрышты өлшеу дәлдігі $\Delta\alpha \approx 0,1$ бұр.с. шамасындай болады.

Келесі лазерлі өлшегіш құрал — ол лазерлі-телевизиялық қондырғы (3-сур.). Оптикалық-электронды қондырғылардың контрасты-жиілікті сипаттамаларын (КЖС) бағалау үшін лазерлі интерференциялық резольвометрлер (ЛИР) құрастырылған. Оның жұмысы бір осьті кристалдардан жасалынған екілену айнымалы бұрышты қоссындырғыш призма (ЕАБҚП) және бифокалды линзалар (БЛ) қолданылатын поляризациялық ығысу интерферометрі принциптеріне негізделген. ЕАБҚП қолданылатын КЖС интерференциялық теорияда когерентті-оптикалық өрістерді метрологиялық зерттеулерде сәтті қолданысқа ие.

Өзінің қарапайымдылығымен, ықшамдылығымен және тербеліске орнықтылығымен КЖС көптеген мәселелерді жоғары деңгейде шешеді. Мысалы, төменгі және орташа кеңістік жиіліктерде (0-300 тм.сыз/мм) 100 % модуляция шамасында, интерференциялық тордың әр түрлі контрастында абсолютты өлшеулер жасай алады.

ЕАБҚП қолданылатын КЖС-да түзу интерференциялық тор құралды және оның кеңістік жиілігін біркелкі өзгертуге ЕАБҚП қасиеттері қолданылады. Призманың кірісіндегі қабырғаға түсу бұрышы өзгерген кезде o -және e -сәулелерінің арасындағы екілену бұрышы $0 \pm 7^\circ$ аралығында өзгереді.

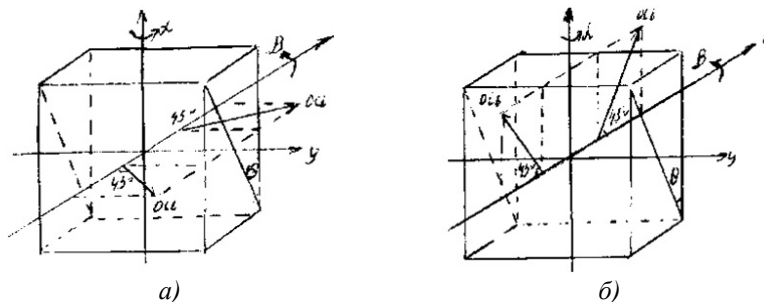


3-сурет. Лазерлі интерференциялық резольвометрдің схемасы; 1 — газды лазер; 2 — коллиматор; 3 — $\frac{1}{4}$ пластинка; 4 — ЕАБҚП; 5 — анализатор; 6 — экран, немесе фотокабылдағыш жүйе

(1) лазер сәулесі коллиматордың (2) көмегімен кеңейтіліп параллель күйге келтіріледі. Ол $\frac{1}{4}$ пластинка (3) көмегімен шеңберлі поляризацияланған сәулеге түрленеді. Одан соң ЕАБҚП (4) түседі. Ол айнымалы және жылжымалы қозғалыстар жасауға мүмкіндігі бар оптикалық орындыққа орналастырылған. КЖС-да ЕАБҚП-1 және ЕАБҚП-2 (4-сур.) призмалары қолданған жағдайда периоды келесідей интерференциялық жолақтар пайда болады:

$$d_1 = \lambda / \delta \operatorname{tg} \theta \sin \alpha; \quad (2)$$

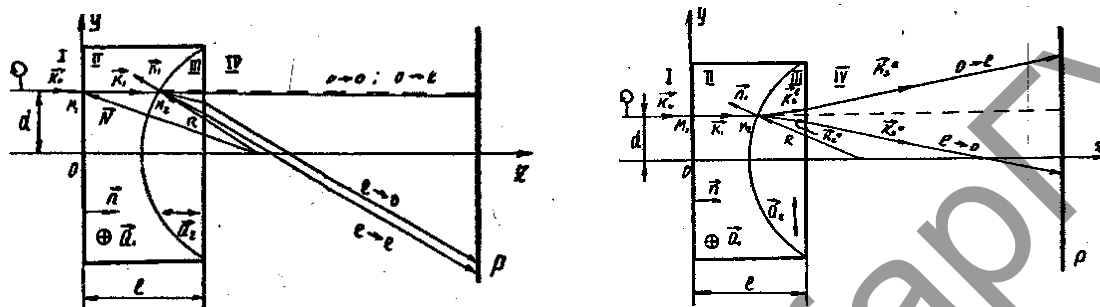
$$d_1 = \lambda \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \theta + \sqrt{n_e^2 - \sin^2 \alpha}}{\delta \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \alpha \sqrt{n_e^2 - \sin^2 \alpha}}. \quad (3)$$



4-сурет. ЕАБҚП-1 (а), ЕАБҚП-2 (б) призмалар құрылымы

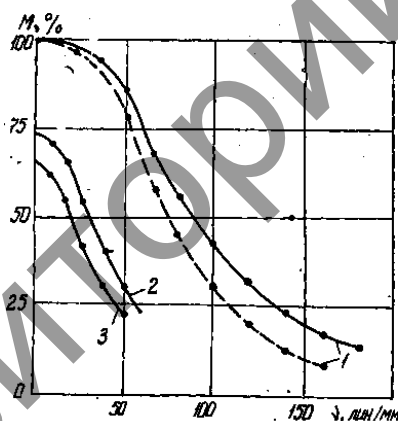
ЕАБҚП-2 қолданылатын КЖС-да $\theta = 25^\circ$, $\lambda = 632,8$ нм толқын ұзындықта интерференциялық тордың кеңістік жиілігін 0-300 тм.сыз/мм аралығында біркелкі өзгерісін қамтамасыз ете алады. Бұл кезде призmanın өзгеру бұрышы $\alpha = 0 \div 40^\circ$ аралығында жүреді.

КЖС пайдаланудың келесі жолы — бифокалды линза БЛ-1 (5-сур., а) қолдану. Бұл жағдайда интерференциялық растр сақиналы түрде болады. Ол Френелдің аймақты сақиналары түріндегі когерентті торды береді. ЕАБҚП негізінде құрылған КЖС-мен салыстырғанда бұл қондырғы жиілікті арнайы өзгертуді талап етпейді. Себебі сақиналы растр құрылымында қажетті жиіліктер жиыны бар.



5-сурет. БЛ-1 (а), БЛ-2 (б)

Төмендегі 6-суретте КЖС сақиналы интерференциялық растрды қолдану арқылы диссектордың (электронды сәулелі қондырғы) КЖС өлшеудің нәтижесі көрсетілген.

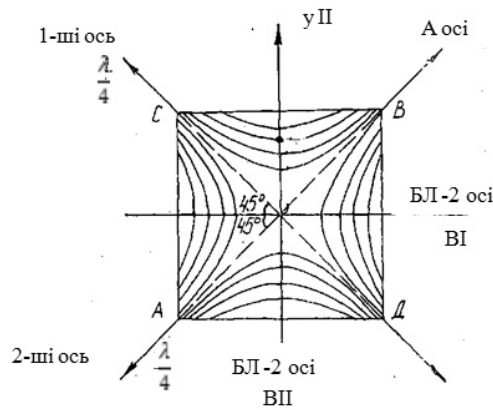


6-сурет. Диаметрі 10 мкм саңлауы бар диссектордың КЖС:

1 тұтас сызық интерференциялық әдіспен алынған; 1-үзінді сызық проекциялық әдіспен алынған
Интерференциялық растрдың әр түрлі контрастарында алынған: 1 - $\omega = 45^\circ$; 2 - $\omega = 55^\circ$; 3 - $\omega = 58^\circ$,
мұндағы ω — анализатор мен \vec{E}_0 векторының (немесе \vec{E}_e) арасындағы бұрыш.

Бұл суреттен көретініміз, интерференциялық жолақтардың контрастысының (M модуляция шамасының) кеңістік жиілікке v (сыз/мм) тәуелділігін интерференциялық әдіспен өлшеу (1тұтас сызық) M -нің жоғары мәнін береді, ал штрихты саңлаулар көмегімен алынған проекциялық әдісте бұл көрсеткіш төмен (1 үзінді сызық). Интерференциялық растрдың контрастын азайтқан жағдайда КЖС көп төмендейді (2- және 3-сызықтар). Сақиналы интерференциялық растр екі өлшемді сигналды телевизиялық каналдар арқылы тасымалдаудың сапасын талдау үшін қолданылады.

КЖС-қолданудың үшінші жолы — бифокалды линза БЛ-2 (5-сур., б) қолдану. Бұл жағдайда периодтылығы әр түрлі гипербола түріндегі интерференциялық торлар пайда болады (7-сур.). Кеңістіктік жиіліктер жиынының ішінен әр түрлі жолдар бойынша сигналдарды бөліп алуға болады. Бұндай когерентті тор телевизиялық кеңістікте бірнеше қатар арналар бойынша өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді.



7-сурет. БЛ-2 линзасы беретін гиперболалық растр

Сонымен қатар айтылып өткен қондырғылар поляризациялық жарықты голография алуға, оптикалық байланысты жүргізуге, ақпараттарды өңдеуге, жартылай өткізгішті лазерлердің сәулесінің бағыттылық диаграммасын анықтауға мүмкіндік береді.

Қорыта келе, бір осьті кристалдардан жасалынған линзалар мен призмалардың негізінде құрылған поляризациялық интерферометрлердің көмегімен әр түрлі мақсаттарда өлшеулер жүргізіп, тәжірибеде аса маңызды деректер алуға мүмкіндік аламыз.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1973.
- 2 Сороко Л.М. Основы когерентной оптики и голографии. — М.: Наука, 1971.
- 3 Магдич Л.Н., Молчанов В.Я. Акустооптические устройства и их применение. — М.: Сов. радио, 1988.

А.У.Умбетов, Б.С.Садыкова

Лазерные измерительные устройства

В статье отмечено, что с развитием когерентной оптики и электроники использование кристаллооптических систем для создания лазерных измерительных устройств получило широкое развитие. Интерференция поляризованных лучей, формируемых кристаллооптическими системами в различных комбинациях, позволяет использовать их для разработки многообразных лазерных измерительных устройств. Рассмотрены примеры лазерных измерительных устройств, разработанных на основе кристаллооптических систем, приведен метод расчета распространения электромагнитных волн в кристаллооптической системе-биполяризаторе (БП) из одноосного кристалла. Получены выражения, удобные для анализа свойства БП. Выведена зависимость пространственной частоты интерференционных полос, формируемых БП, от угла падения лазерных пучков на входные грани БП.

A.U.Umbetov, B.S.Sadykova

Lazer measuring device

The broad use of cristal-optics system for creating measuring laser devices was due to the development of optics and electronics. The author gives some examples of using laser measuring devices developed on the basis of cristal system. The method of calculation bipolarizator of electromagnetic waves has been also developed in crystalloptical system from monoaxial crystal. Convenient expressions are received for the analysis of the bipolarizator's property. Dependence of spatial frequency of the interferential strips has been formed by BP, from the angle of falling laser beams to entrance side of BP.

References

- 1 Born M., Volf Ye. *Basis of optiks*, Moscow: Nauka, 1973.
- 2 Soroco L.M. *Basis coherent optometrists and holography*, Moscow: Nauka, 1971.
- 3 Magdich L.N., Molchanov V.Ya. *Akustooptic devices and their using*, Moscow: Soviet radio, 1988.