

FAZA KVAZİSİNHRONİZM REJİMİNDƏ İŞLƏYƏN YÜKSƏKEFFEKTİLİ LAZER TEZLİK ÇEVİRİCİLƏRİ

Z.H.TAĞIYEV, N.V. KƏRİMOVA
Azərbaycan Tibb Universiteti

R.C. QASIMOVA, Q.Ə. SƏFƏROVA, M.Ə. MƏMMƏDOV
Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Az-1145, Z. Xəlilov, 23

İşdə faza kvazisinxron rejimində lazer tezlik çeviricilərinin işi sabit intensivlik yaxınlaşmasında araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, nizamlı domen strukturunda domenlərin uzunluğunun optimal (koherent) uzunluğa bərabərliyində çevirmənin effektivliyi maksimuma çatır. Sabit amplitud metodundan fərqli olaraq, sabit intensivlik yaxınlaşmasında koherent uzunluq əsas dalğanın intensivliyindən asılıdır. Domenlərin sayı artdıqca onların koherent uzunluğu da artmış olur.

Qeyri-xətti optik proseslərdə tezlik çeviricilərinin effektivliyini artırmaq üçün dalğaların qarşılıqlı təsiri zamanı onların faza sürətlərinin bərabərlik şərtini təmin etmək tələb olunur. Bu şərt daxilində dalğalar mühitdə yayıldığı zaman onların arasında faza sürüşməsi meydana çıxmır. Dalğaların qarşılıqlı təsiri zamanı meydana çıxan faza sürüşməsinə kompensasiya etmək üçün müxtəlif sxemlər mövcuddur. Təcrübi nöqteyi nəzərdən ən səmərəli üsul – birinci kristaldan keçən optik dalğaların, əvvəlki kristaldan yalnız spontan polarizasiyasının istiqamətilə fərqlənən ikinci kristaldan da keçirilməsidir.

Praktikada bu hal ikinci kristalın optik oxunu birinci kristalınkına nəzərən π qədər fırlatmaqla əldə edilir. “Fırladılmış” belə kristallarda üç rəngli qavrayıcılıq tenzorun işarəsi əksinə çevrilir. Bu fikir, ilk dəfə bir-birindən asılı olmayaraq iki qrup alimlər – Blombergen və əməkdaşları [1] və Frankenlə, Uord [2] tərəfindən irəli sürülmüşdür. Ardıcıl qoyulmuş periodik polarizəlanmış kristallar nizamlı domen (təbəqə) quruluşlu (NDQ) kristallar adlanır. Bircinsli qeyri-xətti mühitlərdən fərqli olaraq, belə nizamlı quruluşlu kristallarda qarşılıqlı təsirdə olan dalğaların faza uyğunluğu, domenlərin uzunluğunun koherent qarşılıqlı təsir məsafəsinə bərabərliyindən yaranır ki, bu da faza kvazisinxronizmə uyğundur. Başqa sözlə, kvazisinxronizm – qeyri-xətti optik qarşılıqlı təsir zamanı faza uyğunluğu yaratmaq metodudur ki, qarşılıqlı təsirdə olan dalğalar arasında fazalar münasibəti periodik quruluşa malik qeyri-xətti mühitlərin hesabına korreksiya olunur [3, 4].

Kvazisinxronizm qeyri-xətti qarşılıqlı təsir hesabına qeyri-xətti optikada istifadə olunan kristallar sinfini genişləndirir. Bura həm adi sinxronizmə malik olmayan izotrop kristallar, və həm də sinxron qarşılıqlı təsirdə istifadə oluna bilməyən effektiv qeyri-xətti tenzor komponentli kristallar aiddir [5].

Bircinsli kristallardan fərqli olaraq NDQ – kristallarının üstünlüyü həm də ondadır ki, bir kristalda eyni zamanda bir neçə harmoniyanın generasiyasını almaq mümkündür. Dalğaların ardıcıl qarşılıqlı təsiri zamanı ikinci və üçüncü harmoniyaların generasiyası eyni zamanda [6] –cı işdə alınmışdır. Bu zaman nakaçka rolunda dalğa uzunluğu $\lambda=1.230\text{mkm}$, davamətmə müddəti 9ns olan impuls lazerindən istifadə olunmuşdur. Bu yolla impulsun davamətmə müddəti 100 ns, təkrarlanma tezliyi 1 kHs və orta gücü 1 Vt tərtibində Nd: YAG şüalanmasının üçüncü harmoniyaya generasiyası da alınmışdır [7].

Periodik qeyri-xətti strukturlarda kvazisinxron qarşılıqlı təsirin nəzəriyyəsinə, xüsusən ikinci harmoniyanın generasiyasına, bir çox işlər həsr olunmuşdur [5-9]. Bu

işlərdə məsələlər əsasən ya sabit amplitud yaxınlaşmasında, ya da ki, dəqiq hesablama yolu ilə həll edilmişdir. Son zamanlar dalğaların qeyri-xətti qarşılıqlı təsirini xarakterizə edən tənliklərə müəyyən sadələşdirmələr apararaq, sabit intensivlik yaxınlaşması da tətbiq edilmişdir [5].

Bu işdə sabit intensivlik yaxınlaşmasında [10] mühitdəki itgini və qarşılıqlı təsirdə olan bütün dalğaların faza dəyişmələrini nəzərə almaqla, ikinci harmoniyanın generasiyası zamanı kvazisinxron qarşılıqlı təsir prosesi araşdırılmışdır. Sabit amplitud yaxınlaşmasından fərqli olaraq, baxılan yaxınlaşmada ikinci harmoniya dalğasının əsas dalğaya əks təsiri nəzərə alınır.

Sabit intensivlik yaxınlaşmasında analitik təhlil zamanı [5]-ci işdən fərqli olaraq əsas dalğanın intensivliyinin ayrı-ayrı domenlərdə dəyişdiyi və domen hüdudunda isə sabit qaldığı nəzərdə tutulur. [5] işdə isə, bütün domenlər strukturu boyunca əsas dalğanın intensivliyinin sabit qaldığı götürülür.

Məlumdur ki, domen strukturunda ikinci harmoniya prosesini xarakterizə edən tənliklər aşağıdakı kimidir

$$\begin{aligned}\frac{dA_1}{dz} + \delta_1 A_1 &= -i\gamma_1 A_2 A_1^* \exp(-i\Delta z), \\ \frac{dA_2}{dz} + \delta_2 A_2 &= -i\gamma_2 A_1^2 \exp(i\Delta z),\end{aligned}\quad (1)$$

burada $A_{1,2}$ – ω_1 və ω_2 ($\omega_2=2\omega_1$) tezliklərinə uyğun əsas və ikinci harmoniya dalğalarının kompleks amplitudları, δ_j , γ_j – uyğun olaraq ω_1 və ω_2 tezlikli dalğaların udma əmsalları və qeyri-xətti əlaqə əmsalları, $\Delta=k_2-2k_1$ – dalğaların faza sürüşməsidir.

Başlanğıc halda qəbul edilir ki, birinci domenin girişində ancaq ω_1 tezliyinə uyğun dalğanın kompleks amplitudu sıfırdan fərqlidir, yəni

$$A_1(z=0) = A_{10} \exp(i\varphi_{10}), \quad A_2(z=0) = 0, \quad (2)$$

harada $z=0$ birinci domenin girişinə uyğundur, φ_{10} -əsas dalğanın başlanğıc fazasıdır.

Domenədən domenə keçərkən sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi götürülür

$$A_{1,2}^n(z=0) = A_{1,2}(l_{n-1}) \exp(i\varphi_{1,2}(l_{n-1})), \quad n=2, 3, \dots \quad (3)$$

burada $A_{1,2}^n(z=0)$ n -ci domenin girişində, $A_{1,2}(l_{n-1})$ - isə $(n-1)$ -ci domenin çıxışında ω_1 və ω_2 tezlikli dalğaların kompleks amplitudlarıdır, $\varphi_{1,2}(l_{n-1})$ - $(n-1)$ - tərtibli

domendən n - tərtibli domenə keçid zamanı ω_1 və ω_2 tezlikli dalğaların faza dəyişməsidir.

(2) və (3) sərhəd şərtləri daxilində (1) sistemin ardıcıl yerləşdirilmiş dörd domen üçün həlli ($\delta_2=2\delta_1$):

$$\eta_2(l_4) = \eta_2(l_3) \left[\left(\cos \lambda_4 l_4 + c_a \gamma_2' \frac{\sin \lambda_4 l_4}{\lambda_4} \right)^2 + \left(c_b \gamma_2' + \frac{\Delta_4}{2} \right)^2 \frac{\sin^2 \lambda_4 l_4}{\lambda_4^2} \right] \exp(-2\delta_2 l_4), \quad (4)$$

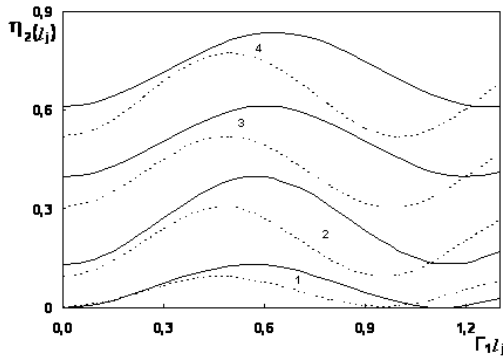
Burada iki qonşu domenlərdə qeyri-xətti qavrayıcılığın işarələri bir birinin əksinədir $\gamma_{1,2} / \gamma_{1,2}' = -1$ və

$$\lambda_4^2 = 2\Gamma_4^2 + \Delta^2 / 4,$$

$$\Gamma_4^2 = \gamma_1' \gamma_2' I_1(l_3),$$

c_a, c_b - əmsalları birinci üç domenin uzunluğundan, Δ - dalğaların faza sürüşməsindən, $\gamma_{1,2}(\gamma_{1,2}')$ - qeyri-xətti əlaqə və $\delta_{1,2}$ - udma əmsallarından və qarşılıqlı təsirdə olan dalğaların intensivliklərindən asılıdır. c_a, c_b üçün ifadələr nəhəng olduğuna görə burada verilmir.

(4) düsturuna daxil olan $I_1(l_3)$ vuruğu üçüncü domenin çıxışında əsas dalğanın intensivliyidir.



Şəkil. Sabit intensivlik yaxınlaşmasında hesablanmış ikinci harmoniyanın η_2 çevrilmə effektivliyinin domenlərin gətirilmiş uzunluqlarından $\Gamma_1 l_i, j=1 \div 4$ asılılıqları $\eta_2(l_1, l_2, l_3, l_4)$: $\delta_{1,2}=0$, $\tilde{\Delta}=2.4$ (bütöv xəttlər) və $\tilde{\Delta}=3$ (nöqtəvi xəttlər) ($\tilde{\Delta} = \Delta / 2\Gamma_1$). Burada $\Gamma_{1,l_{1,opt}} = 0.5639$,

$$\Gamma_{1,l_{2,opt}} = 0.5742, \Gamma_{1,l_{3,opt}} = 0.6015 \text{ (bütöv xəttlər üçün)}$$

$$\text{və } \Gamma_{1,l_{1,opt}} = 0.4736, \Gamma_{1,l_{2,opt}} = 0.4777, \Gamma_{1,l_{3,opt}} = 0.4890$$

(nöqtəvi xəttlər üçün).

Şəkilə ikinci harmoniyaya çevrilmənin effektivlik əyrləri göstərilmişdir. Burada, $\eta_2(l_1)$ effektivliyin birinci domenin l_1 uzunluğundan, $\eta_2(l_2)$ ardıcıl götürülmüş iki domen olduğu halda, effektivliyin ikinci domenin l_2 uzunluğundan, $\eta_2(l_3)$ ardıcıl götürülmüş üç domen olduğu halda, effektivliyin üçüncü domenin l_3 uzunluğundan, və nəhayət, $\eta_2(l_4)$ ardıcıl götürülmüş dörd domen olduğu halda, effektivliyin dördüncü domenin l_4 uzunluğundan asılılıqları verilmişdir.

Əyrlər faza sürüşməsinin gətirilmiş $\tilde{\Delta}$ ($\tilde{\Delta} = \Delta / 2\Gamma_1$)

iki qiymətlərində, yəni $\tilde{\Delta}=2.4$ (bütöv xəttlər) və $\tilde{\Delta}=3$ (nöqtəvi xəttlər) qurulmuşdur. Əyrlərdən görünür ki, effektivliyin domenlərin uzunluqlarından asılılığı $\eta_2(l_i)$ maksimumlara malikdir. Domenin uzunluğu koherent uzunluğa bərabər olduqda, effektivlik $\eta_2(l_1)$ maksimuma çatır və harmoniya dalğası o biri domenə daxil olur. İkinci domendə də harmoniyanın effektivliyi ikinci domenin koherent uzunluğuna qədər artmış olur, və s. Beləliklə, nizamlı domen strukturunda harmoniya dalğasının intensivliyi domenlərdə get-gedə artaraq, çıxışda maksimuma çatır. Araşdırmalar göstərir ki, domenlərin sayının az olduğu halda belə ikinci harmoniyaya çevrilmənin effektivliyini nəzərə cərpacaq dərəcədə artırmaq olur.

Qeyd edək ki, sabit amplitud metodunun nəticəsindən fərqli olaraq (4) düsturunda λ_4 - ün ifadəsinə əsas dalğanın intensivliyindən asılı hədd Γ_4 daxil olur. İntensivlikdən asılı olan bu həddin daxil olması ikinci harmoniyanın faza döyünlərinin minimumlarının yerini dəyişir və məsələnin optimal parametrlərinin qiymətlərinə təsir edir. Ona görə də əsas dalğanın intensivliyindən asılı olan faza münasibətlərinin müntəzəm domen strukturlarında nəzərə alınması vacib məsələlərdəndir.

- [1] J.A. Armstrong, N.Bloembergen, J.Ducuing, and P.S.Pershan, Phys.Rev., 1962, 127, 1918-1939.
- [2] P.A. Franken and J.F. Ward, Rev.Mod.Phys., 1963, 35, 23-39.
- [3] M.M. Fejer, G.A.Magel, D.H.Jundi, and R.L. Byer, IEEE J. Quantum Electronics, 1992, 28, No.11, 2631-2654.
- [4] R.L. Byer, Nonlinear Opt. Phys. Materials, 1997, 6, 549-553.
- [5] A.V. Boxin, V.Q. Dmitriev, Kvantovaya elektronika, 2002, 32, №3, 219-222.
- [6] M.Gu, M. Makarov, Y.J. Ding, J.B. Khurgin, W.P. Risk, Opt. Letts., 1999, 24, 127-131; M.Gu, B.Y. Korotkov, Y.J. Ding S.V. Kang, J.B. Khurgin, Opt. Commun., 1999, 155, 323-326.
- [7] A.S.Çirkin, V.V. Volkov, Q.D. Laptev, E.Ö. Morozov, Kvantovaya elektronika, 2000, 30, №10, 847-858; V.Q. Dmitriev, Cinqx, Kvantovaya elektronika, 2004, 34, №10, 933-940.
- [8] O. Phister, J.S. Wells, L. Hollberg, L. Zink and others, Opt.Lett., 1997, 22,1211-1215.
- [9] R.L. Byer, Nonlinear Opt.Phys.Materials.1997, 6, 1211-1220.
- [10] Z.A. Taqiev, A.S. Çirkin, CGTF, 73, 1271-1282,(1977); Z.H. Tagiev, R.J. Kasumova, R.A. Salmanova, and N.V. Kerimova, Quantum Semiclassic. Opt. 3, 84-87, 2001.

**HIGH EFFICIENCY LASER RADIATION FREQUENCY CONVERTERS IN
QUASI-PHASE –MATCHED REGIME**

There is made an analysis of quasi-phase-matched interaction of light waves of the process of doubling frequency in regular domain structure in the constant-intensity approximation. The analytical expression of the frequency conversion efficiency for the case of fourth domains has been obtained. It has been shown that in the constant-intensity approximation, in contrast to the constant-amplitude approximation, the account of the dependence of the phase relationships from the pump intensity influences on the characteristics of conversion process of nonlinear waves in regular domain structure.

З.А. Тагиев, Р.Дж. Касумова, Г.А. Сафарова, М.А. Мамедов, Н.В. Керимова

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В
РЕЖИМЕ ФАЗОВОГО КВАЗИСИНХРОНИЗМА**

В приближении заданной интенсивности рассмотрен режим квазисинхронного взаимодействия световых волн в регулярных доменных структурах на примере процесса удвоения частоты. Дано выражение для эффективности преобразования в случае четырех доменов. Показано, что в отличие от результатов приближения заданного поля в приближении заданной интенсивности учет зависимости фазовых соотношений от интенсивности основного излучения влияет на характеристики процесса преобразования нелинейных волн в регулярной доменной структуре.

Received: 17.08.07