

# KARIŞIK SOLİTON DARBE KAYNAĞININ MOD-KİLİTLEME ARALIĞININ ÖNEMLİ DERECEDE ARTIRILMASI

Nuran DOGRU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi  
27310, Gaziantep. e-posta: [dogru@gantep.edu.tr](mailto:dogru@gantep.edu.tr)

## ABSTRACT

*Linearly chirped tanh apodized fiber Bragg grating (FBG) is utilized in hybrid soliton pulse source (HSPS) to extremely increase the mode-locking frequency range of HSPS. Near transform-limited pulses are obtained over a frequency range of 1.6 GHz (1.8-3.4 GHz) for tanh apodized around a system operating frequency of 2.5 GHz whereas this range is 1.3 GHz (2-3.3 GHz) for raised-cosine flat top and 850 MHz (2.1-2.95 GHz) with linearly chirped Gaussian apodized.*

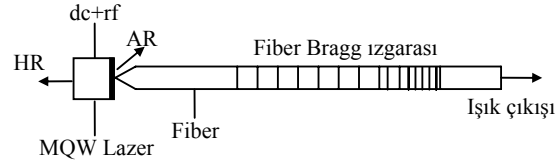
**Anahtar sözcükler:** Fiber Bragg ızgara, Aktif mod-kilitleme, soliton darbe, Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS)

## 1. GİRİŞ

Son zamanlarda, aktif mod-kilitleme kullanarak kısa optikal darbe kaynak örnekleri sunulmaktadır. Bu meteo yüksek hızlı kommunikasyon için düşük timing jitter pikosaniye darbeler sağlamaktadır. Dış boşluk ızgaralı aktif mod-kilitleme yarıiletken lazerler böyle darbeler üretmek için bir tekniktir. Fiber ızgaralı dış boşluklu lazerler için 2.5 GHz [1] ve 10 GHz [2] de mod-kilitleme sistemi deneysel olarak gösterilmiştir. Karışık (melez) soliton darbe kaynağı (HSPS) soliton transmisyonu için geliştirilmiş böyle bir cihazdır. Oldukca geniş çalışma frekans aralığı bu cihazın en ilginç özelliklerinden biri olup bu aralık chirp ızgaralar kullanılarak artırılır [3]. Kaynak 3 de doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu fiber Bragg ızgara kullanarak çeviri-sınırlı darbelerin (time-bandwidth-product) üretildiği mod-kilitleme aralığı teorik ve deneysel olarak 850 MHz olduğu bulunmuştur. Bu bildiride ise soliton darbelerin üretildiği mod-kilitleme aralığının doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu [3] ve doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top ızgara kullanan karışık soliton darbe kaynağı [4] ile karşılaştırıldığında doğrusal azalan adımlı tanh pozlu fiber Bragg ızgaralarının önemli derecede artırdığı gösterilmiştir [5].

## 2. MODEL

Karışık soliton darbe kaynağı, tek ve stabil mod sağlayan şiddetli geribeslemeli bir sistemdir [3] ve temel olarak üç bölümden oluşmaktadır (bkz. Şekil 1): Bir çoklu-kuantum duvarlı (MQW: Multi-Quantum Well) yarı iletken lazer diyot, fiber kablo ve kablonun sonunda belli bir bölümde oluşturulmuş Bragg yansıtıcı. Diyotun bir yüzeyinin yansıtması yüksek (HR), diğeri ise çok düşüktür (AR). Çıkış şiddeti yansıtıcıdan alınır.



Şekil 1: Karışık soliton darbe kaynağının sisteminin şematik görünümü

Model çiftli dalga denklemlerinin zaman domeninde çözümüne dayalıdır [3]. Doğrusal azalan adımlı fiber ızgaranın (değişen adımlı, değişen genlikli) kırılma indisi aşağıdaki gibidir:

$$n(z) = n_0 + \Delta n(z) \cos \left[ \frac{2\pi}{\Lambda(z)} z \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte  $n_0$  fiberin değişime uğramadan önceki kırılma indisi,  $\Delta n(z)$  maksimum kırılma indis değişimi ve  $\Lambda(z)$   $z$ ' e bağımlı ızgara adımını (tekrarlama sıklığı) gösterir.

Çiftli dalga denklemlerini kullanarak ve ileri yöndeki dalga  $E^+(t,z)$  (+z yönünde) ve geri yöndeki dalga  $E^-(z,t)$  (-z yönünde) arasındaki kavrama (coupling) aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\frac{dE^+}{dz} = -j \left( \delta + \frac{2\kappa(z)}{m} - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz} \right) E^+ - j\kappa(z)E^- \quad (3)$$

$$\frac{dE^-}{dz} = j \left( \delta + \frac{2\kappa(z)}{m} - \frac{1}{2} \frac{d\phi}{dz} \right) E^- + j\kappa(z)E^+ \quad (4)$$

Burada,  $\delta$  Bragg yayılım sabitinin real kısmının Bragg dalgaboyundan sapmasını,  $\kappa(z)$  ieri ve geri yöndeki dalgalar arasındaki kavramayı (coupling),  $m$  modülayon indisini ve  $\Phi$  ise ızgara adım değişim fonksiyonunu ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılır

$$\Phi = -\frac{4\pi n_o}{\lambda_o^2} Cz^2 \quad (5)$$

Bu eşitlikte  $\lambda_o$  Bragg dalga boyunu ve C (chirp) adım değişim katsayısıdır.

Izgara kırılma indisinin tanh pozlandırılması ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$\kappa(z) = -\kappa_p \tanh \left( 4 \frac{(z - FWHM_g / 2)}{FWHM_g} \right) z \geq 0 \quad (6)$$

$$\kappa_p \tanh \left( 4 \frac{(z + FWHM_g / 2)}{FWHM_g} \right) z < 0$$

burada  $\kappa_p$  tepe değeri,  $FWHM_z$  (full width half maximum) ise bu değişimin yarım genliktaki tam genişliğini ifade eder ve ızgara uzunluğuna eşittir.

Karışık soliton darbe sisitemi için ışık üretimi ve amplifikasyonu için her bölme ayrı ayrı çözümlenmelidir. Örneğin, laser bölmesi için çiftli-dalga denklemleri verimi, kaybı ve gürültüyü, ızgara için kavramayı içerir.

Her bir lazer bölmesindeki taşıyıcı yoğunluk taşıyıcı oran (carrier rate) denklemlerinden hesaplanır:

$$\frac{dN(z,t)}{dt} = \frac{I(t)}{eV} - \frac{N(z,t)}{\tau_n} - \frac{a_o(N(z,t) - N_o)}{1 + \varepsilon S(z,t)} v_g P(z,t) \quad (7)$$

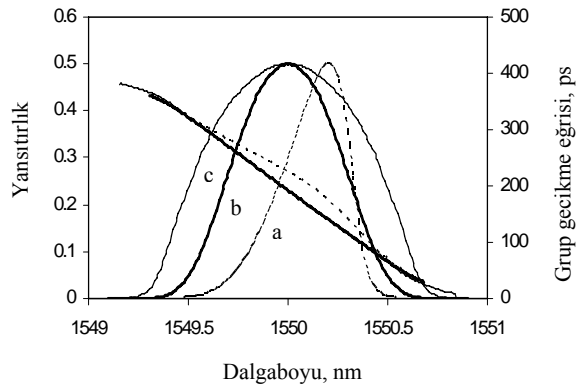
burada  $I$  enjekte edilen akım,  $V$  aktif bölgenin hacmi,  $e$  elektronik yük,  $\tau_n$  yaşam süresi,  $P(z,t)$  foton yoğunluğu olup  $|E^+|^2 + |E^-|^2$  ile orantılıdır,  $N_o$  saydamlıktaki taşıyıcı yoğunluk,  $\varepsilon$  kazanç doyma (gain saturation) faktörü ve  $a_o$  diferansiyel kazanç.

Her zaman aralığında yeni alan (field) değeri hesaplanır ve sınır şartları uygulanır. Bu işlem stabil mod-kilitli darbeler elde edilinceye kadar tekrarlanır.

## 4. SONUÇLAR

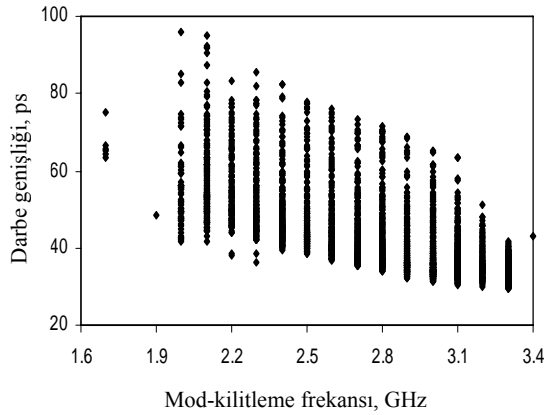
Simulasyonda, dalgaboyu 1.55  $\mu\text{m}$ , mod-kitleme frekansı 2.5 GHz, lazer ve ızgara uzunlukları 250  $\mu\text{m}$  ve 4 cm alınmıştır. Chirp değeri  $-1.9 \text{ \AA}/\text{cm}$  ve uygulanan dc ve rf akımları 6 mA ve 20 mA dir. Kullanılan diğer lazer parametreleri [5-8] den bulunabilir.

Kırılma imndisinin sinusoidal değişiminin periyodu doğrusal olarak azaltıldığında doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu ve doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top fiber Bragg ızgaralar için yansıma spektrumları ve grup gecikme eğrileri Şek. 2a ve b deki gibi olacaktır. Şekilde görüldüğü gibi yansıma spektrumları geniş dalgaboyu aralığını kapsamakta ve FWHM değeri, doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu ızgara için 3.78  $\text{ \AA}$  ve doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top ızgara için 6.21  $\text{ \AA}$  dir. Doğrusal azalan adımlı tanh pozlu ızgara için yansıma spektrumu ve grup gecikme eğrisi Şek. 2c de gösterilmiştir. Yansıma spektrumu doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu ve doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top ızgaralar ile karşılaştırıldığında oldukça geniştir (FWHM=9.63  $\text{ \AA}$ ). Şek. 2b ve c de görüldüğü gibi doğrusal azalan adımlı tanh pozlu ve doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top ızgaralar için tepe yansıtırlığı çalışma dalgaboyunda olup yansıma spektrumları simetriktir. Bu dc indeks değişiminin sıfır olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda ızgara sadece ac indeks değişimi varmış gibi davranır. Bu sonuçlar geniş bir yansıma spektrumuna sahip olduğu için tanh pozlu ızgaranın Gaussian pozlu ve raised-cosine top flat ızgaralara göre daha üstün nitelikte olduğunu göstermektedir.



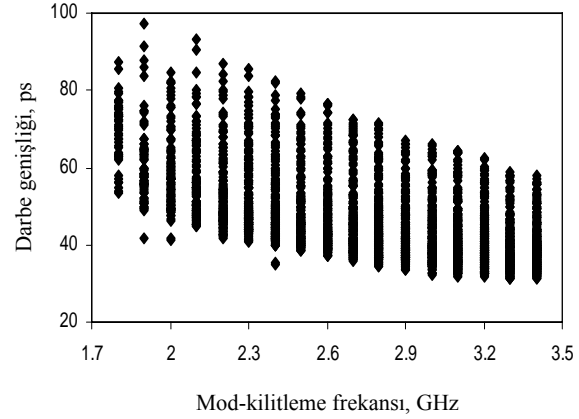
Şekil 2: Yansıma spektrumları ve grup gecikme eğrileri (a) doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu ızgara (b) doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top ızgara ve (c) doğrusal azalan adımlı tanh pozlu ızgara

Şek. 3 ve 4 darbe genişliğinin tüm rf ve dc akımlar için mod-kitleme frekansına karşılık nasıl değiştiğini göstermektedir. Grafikteki her nokta belirli dc ve rf akımdaki soliton darbe çıkışına tekabül etmektedir. Şek. 3 de görüldüğü gibi doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top ızgra için cihaz 2 ile 3.3 GHz arasında pek çok sürme seviyeleri için çalışmakta hatta 1.7 GHz ve 1.9 GHz için belirli sürme seviyelerinde de çalışabilmektedir [4]. Bu ızgaranın 2.5 GHz de çalışması için dizayn edilmesine rağmen, cihazın 2 ile 3.3 GHz arasında darbe genişlikleri 30-100 ps ve zaman-band genişliği 0.3-0.5 arasında değişen darbeler ürettiğini göstermektedir. Doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu ızgra için mod-kitleme aralığı Kaynak 3 de zaman-band-genişliği çarpımı 0.3 ile 0.7 arasında değişmesine rağmen 850 MHz (2.1-2.95 GHz) olarak bulunmuştur. Bununla birlikte Şek. 4 de görüldüğü gibi tanh pozlu ızgra ile cihaz 1.8 ile 3.4 GHz arasında pek çok sürme seviyeleri için çalışabilmektedir [5]. Sonuçlardan görüldüğü gibi çeviri sınırlı darbelerin üretildiği mod-kitleme frekans aralığı tanh pozlu ızgalar için önemli derecede artmış olmaktadır.



Şekil 3: Doğrusal azalan adımlı raised-cosine flat top ızgaranın tüm rf ve dc akımlar için mod-kitleme frekansının bir fonksiyonu olarak darbe genişliği

Sonuç olarak, karışık soliton darbe kaynağı için dış boşluk (external cavity) olarak kullanılan tanh pozlu ızgara ile cihazın mod-kitleme frekans aralığı önemli derecede artmaktadır (1.8-3.4 GHz).



Şekil 4: Doğrusal azalan adımlı tanh pozlu ızgaranın tüm rf ve dc akımlar için mod-kitleme frekansının bir fonksiyonu olarak darbe genişliği

## References

- [1] Morton, P. A., Mizrahi, V., Andrekson, P. A., Tanbun-Ek, T., Logan, R. A., Lemaire, P., Coblenz, D. L., Sergent, A. M., Wecht, K. W., ve Sciortino Jr., P. F., "Mode-locked hybrid soliton pulse source extremely wide operating frequency range", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 5, 1993 28-31.
- [2] Paoletti, R., Bertone, D., Fang, R., Magnetti, G., Meliga, M., Meneghini, G., Morello, G., Rossi, G., Tallone, L., Scofet, M., "1.55  $\mu\text{m}$  Optical Short Pulse Generation at 10 GHz Repetition Rate Using a Mode-Locked Hybrid Distributed Bragg Reflector (ML-HDBR) Laser Source", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 12, 2000 245-247.
- [3] Ozyazici, M.S., Morton, P.A., Zhang, L.M. ve Mizrahi, V., "Theoretical model of the hybrid soliton pulse source", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 7, 1995 1142-1144.
- [4] Dogru, N., "Mode-locked performance of hybrid soliton pulse source utilizing fiber grating external cavity lasers", *Opt. Commun.* Vol. 260, 2006 227-231.
- [5] Dogru, N., "Extremely Increasing the Operating Frequency Range of Mode-Locked Hybrid Soliton", *Chin. Phys. Lett.* Vol. 23, 2006 838-841.
- [6] Dogru, N. ve Ozyazici, M.S., "Study of the intensity noise and intensity modulation in a of hybrid soliton pulsed source", *Quantum Electronisc.* Vol. 35, 2005 962-970.
- [7] Dogru, N. ve Ozyazici, M.S., "Relative intensity noise of mode-locked fiber grating external cavity semiconductor lasers", *Optics and Laser Technology*, Vol. 35, 2003 163-168.
- [8] Dogru, N. ve Ozyazici, "Intensity noise in mode-locked external cavity lasers", *Physica Scripta*, Vol. T118, 2005 129-131.