

# Hátoldali reflexiós echelon terahertzes forrás optimalizálása numerikus számításokon keresztül

Illés Gergő <sup>1,\*</sup>, Krizsán Gergő <sup>1,2</sup>, Pálfalvi László <sup>1</sup>, Tibai Zoltán <sup>1</sup>, Almási Gábor <sup>1</sup>, Hebling János <sup>1,2,3</sup>, Tóth György <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem, Fizikai Intézet, Pécs, Magyarország

<sup>2</sup> Szentágotthai János Kutatóközpont, Pécs, Magyarország

<sup>3</sup> ELKH-PTE ?Nagy Térerősségű Terahertzes Kutatócsoport?, Pécs, Magyarország

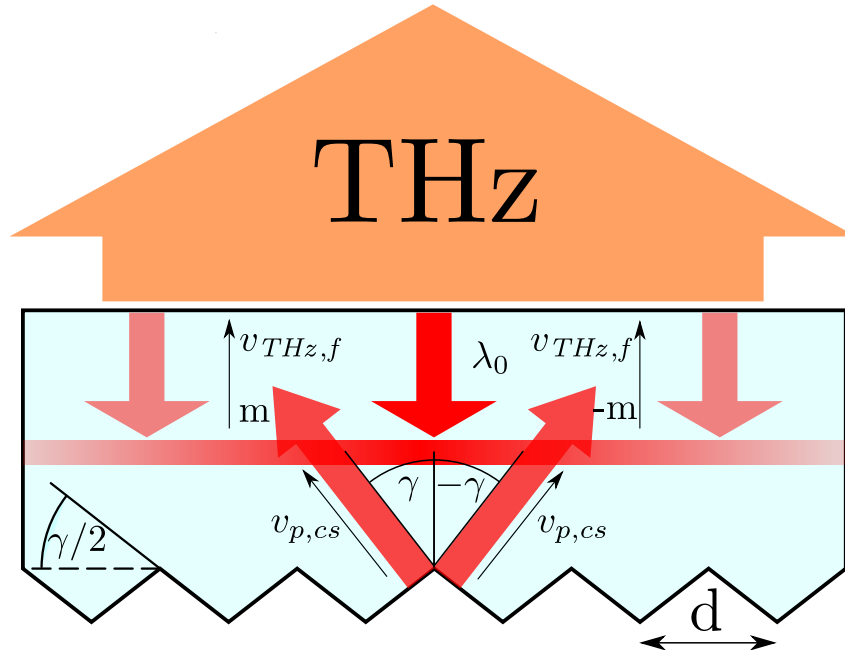
\* illesg@gamma.ttk.pte.hu

## Kivonat

Az optikai terahertzes források fejlődésével lehetőség nyílt arra, hogy 1 mJ nagyságrendű impulzusenergiákat állítsunk elő [1]. Ezt az impulzusenergiát a döntött impulzusfrontú gerjesztés módszerét [2] használva sikerült elérni. Azonban a döntött impulzusfrontú gerjesztés módszerének számos korlátozó tényezője van. Az első, hogy a kristály nagy ékszöggel rendelkezik, a második, hogy a nagy impulzusfront-döntés következtében a pumpaimpulzus nagymértékű szögdiszperzióval rendelkezik, a harmadik pedig, hogy az elrendezésben használt leképző rendszer nem tökéletes, leképzési hibák keletkeznek. Ezen hibák enyhítésére lehetőséget ad a hátoldali reflexiós elrendezés [3, 4]. A Pécsi Terahertzes kutatócsoport már végzett számításokat az elrendezésen, azonban az akkor használt modell nem vette figyelembe a terahertzes impulzus visszahatását a pumpaimpulzusra.

## 1. Az elrendezés vázlata

A hátoldali reflexiós echelon elrendezés sematikus ábráját az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A hátoldali reflexiós echelon sematikus ábrája [4]

Az elrendezés úgy működik, hogy a pumpaimpulzus a kristályra merőlegesen lép be, majd a kristály hátoldalához érve, a megmunkált felületen diffraktálódik. Ezen megmunkálásnak olyannak kell lennie, diffrakció következtében a kialakuló impulzusfrontdöntés megfeleljen a sebességillesztési feltételnek [2]. Amennyiben ez teljesül úgy hatékonyan fog keletkezni a terahertzes (továbbiakban THz-es) impulzus. Az keletkező THz-es impulzus a kristály belépő felületén fog távozni, haladási iránya pedig merőleges lesz erre a felületre, aminek következtében nagy hatásfokú lesz a kicsatolás.

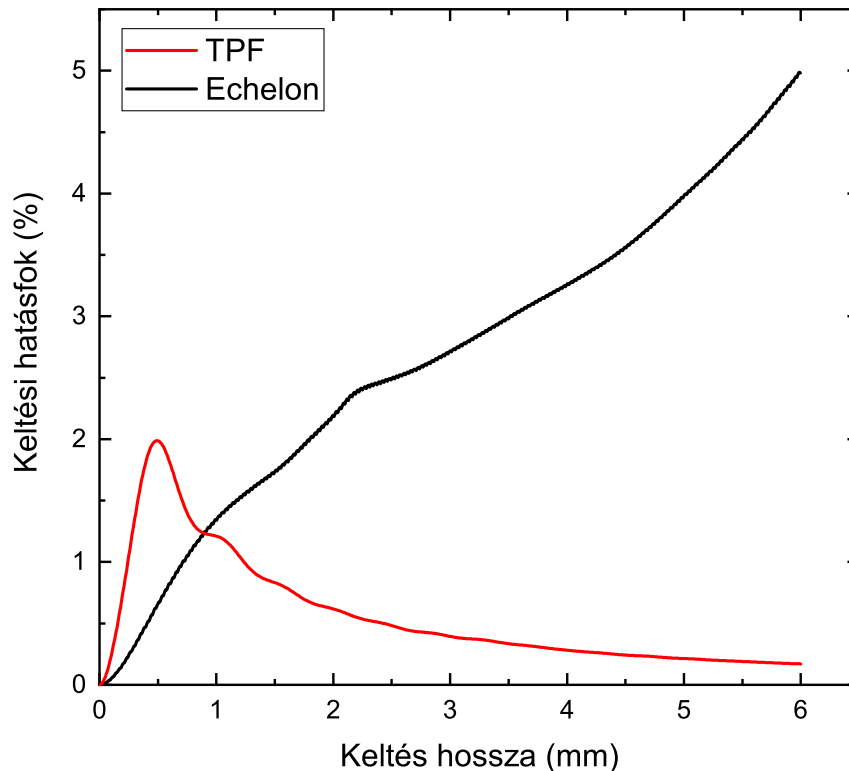
## **2. Numerikus modell**

A számítások olyan numerikus modellel készültek amelyek figyelembe veszik a THz-es impulzus visszahatását a pumpaimpulzusra [5]. A döntött impulzusfrontú gerjesztési technika modellezésénél azt tapasztaltuk, hogy a visszahatás következtében nagy mértékben csökken az elérhető maximális térerősséget, valamint azt, hogy azon kristályhossz ahol a hatásfok maximális rövidebb lesz. További számolások során megállapítottuk, hogy a maximális hatásfokhoz tartozó kristályhosszt túllépve a THz-es impulzus megszűnik egyciklusúnak, a térerősségének maximuma nagymértékben csökken és ezáltal használhatatlanná válik. Az itt bemutatott eredményeket a [5]-ben bemutatott modell módosított változatával kaptuk.

## **3. Eredmények**

### **Hatásfok**

Először vizsgáljuk az echelon elrendezés hatásfokát a döntött impulzusfrontú gerjesztés (továbbiakban TPF) elrendezés hatásfokával összehasonlítva. A számításokat 1030 nm-es központi hullámhosszú, 200 fs-os pumpaimpulzust feltételezve végeztük. Az eredményeket a 2. ábra mutatja.

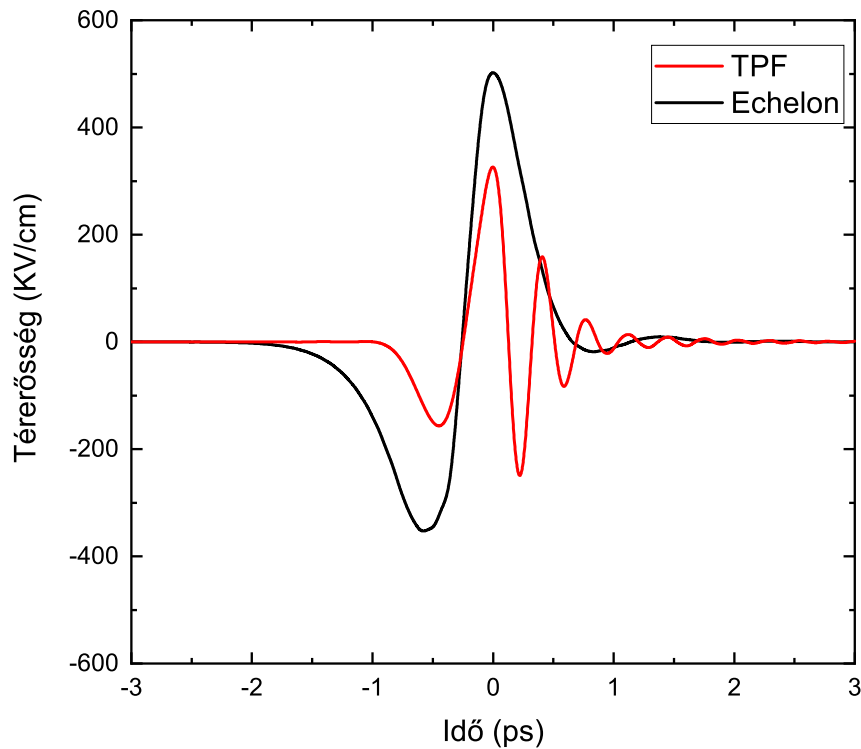


2. ábra. A TPF és az echelon elrendezés hatásfoka

Az ábrán látható, hogy amíg a TPF elrendezés hatásfoka 2% 0,5 mm-es kristályhossz esetén, addig a reflexiós echelon hatásfoka akár az 5%-ot is elérheti 6 mm-es kristályhossz esetén. Ezen számítás alapján azt mondhatjuk, hogy az echelon elrendezés a kedvezőbb, azonban a hatásfok nem az egyetlen tényező. THz generálásnál fontos ezen felül az impulzus időbeli lefutása is, ezért vizsgáljuk meg a THz-es impulzus időbeli lefutását. Láthatjuk továbbá, hogy a TPF hatásfoka gyorsabban növekszik és egy egyértelmű maximumot vesz fel. Az echelon elrendezés hatásfoka a vizsgált tartományon folyamatosan növekszik.

## A térerősségek időbeli lefutása

A TPF elrendezésen végzett korábbi számításokból tudjuk, hogy az elrendezés akkor produkálja a legjobb minőségű THz-es impulzust amikor a maximális hatásfokhoz tartozó kristályhosszat használjuk. Továbbá azt is megállapítottuk szisztematikus számításokon keresztül, hogy amennyiben ennél nagyobb kristályhosszat használunk a THz-es impulzusban sok optikai ciklus jelenik meg, a csúcstérerősség pedig nagy mértékben lecsökken. Ha kisebb kristályhosszakat vizsgálunk ott a THz-es impulzus közel egyciklusú, a maximális térerősség pedig alacsonyabb, mint a maximális hatásfokhoz tartozó kristályhossz esetén. Ezen okokból kifolyólag a TPF esetén a maximális hatásfokhoz tartozó kristályhossznál vizsgáljuk a THz-es impulzus időbeli alakját. Az eredményeket a 3. ábra mutatja.



3. ábra. A TPF és az echelon által keltett THz-es impulzus

Láthatjuk, hogy a két impulzus több szempontból is különbözik egymástól. A TPF által keltett impulzus egynél több optikai ciklust is tartalmaz, míg az echelon által keltett impulzus csak egyet. A másik különbség pedig a maximális térerősség. Ezen beállítások mellett a TPF elrendezéssel elérhető maximális térerősség  $320 \frac{KV}{cm}$  az echelon esetében pedig  $500 \frac{KV}{cm}$ .

## Következtetés

A bemutatottak alapján az mondhatjuk, hogy a hátoldali reflexiós echelon elrendezés ígéretes THz-es forrás. Számításaink azt mutatják, hogy az eddig leggyakrabban használt TPF elrendezésnél nagyobb hatásfokkal képes előállítani nagyobb térerősségű THz-es impulzust. A magas hatásfokkal előállított, nagy térerősséggel rendelkező egyciklusú THz-es impulzusoknak számos helyen felhasználható [6], például töltött részecskék gyorsítására [7].

## Irodalomjegyzék

- [1] X. Wu, B. Zhang, J. Ma és Y. Li, „1.4 mJ High Energy THz Radiation from Lithium Niobates”, *2020 45th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)*, IEEE, 2020, 1–2. old.
- [2] J. Hebling, G. Almasi, I. Z. Kozma és J. Kuhl, „Velocity matching by pulse front tilting for large-area THz-pulse generation”, *Optics Express*, 10. évf., 21. sz., 1161–1166. old., 2002.

- [3] G. Krizsán, Z. Tibai, J. Hebling, L. Pálfalvi, G. Almási és G. Tóth, „Lithium niobate and lithium tantalate based scalable terahertz pulse sources in reflection geometry”, *Optics Express*, 28. évf., 23. sz., 34320–34327. old., 2020.
- [4] G. Tóth és tsai., „Single-cycle scalable terahertz pulse source in reflection geometry”, *Optics Express*, 27. évf., 21. sz., 30681–30691. old., 2019.
- [5] K. Ravi, W. R. Huang, S. Carbajo, X. Wu és F. Kärtner, „Limitations to THz generation by optical rectification using tilted pulse fronts”, *Optics express*, 22. évf., 17. sz., 20239–20251. old., 2014.
- [6] X. C. Zhang, A. Shkurinov és Y. Zhang, „Extreme terahertz science”, *Nature Photonics*, 11. évf., 1. sz., 16–18. old., 2017.
- [7] E. A. Nanni és tsai., „Terahertz-driven linear electron acceleration”, *Nature communications*, 6. évf., 1. sz., 1–8. old., 2015.