دانشگاه زنجان

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش : مخابرات

عنوان :

بررسی روش‌های تولید امواج تراهرتز

استاد راهنما :

دکتر حبیب ا... زلفخانی

نگارش :

مهرداد وزیری

بهمن ۹۰

چکیده :

علیرغم تحقیقات گسترده‌ای که طی چند دهه‌ی گذشته در زمینه‌ی امواج تراهرتز انجام گرفته است، هنوز این گستره به عنوان یکی از نواحی کم شناخته شده‌ی طیف‌های الکترومغناطیسی باقی مانده است. ناحیه ی تراهرتز به دلیل قرار گرفتن بین دو ناحیه‌ی مایکروویو و مادون قرمز، قادر است خواصی متشکل از این دو ناحیه را در خود نشان داده و به همین دلیل باعث شده است در علومی همچون مخابرات اپتیک، اخترشناسی، مهندسی پزشکی، صنایع نظامی و تصویربرداری های خاص، نظر متخصصین را به خود جلب نماید. ادوات مربوط به این طیف فرکانسی شامل مولدها، آشکارسازها و کانال های انتقال می شوند. یکی از موانع موجود در پیشبرد این علم، عدم داشتن توان و راندمان بالا می باشد که قصد داریم راهکارهایی را برای این موضوع ارائه دهیم.

در این تحقیق ابتدا به معرفی این رنج فرکانسی پرداخته، در مورد اجزا و کاربردهای آن به عنوان مثال در نجوم مختصرا اشاره خواهیم کرد، در فصل بعدی به معرفی روش ها و تکنیک های مختلف و معمول تولید این امواج خواهیم پرداخت. در نهایت آنالیز روش غیرخطی اپتیکی را برای تولید این امواج مورد بررسی قرار داده و مزایا و معایب این روش را در مقایسه با مولدهای دیگر بررسی خواهیم کرد.

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول : معرفی تراهرتز ، اجزا و کاربردهای آن ۱

۱.۱ مقدمه ۲

۱.۱.۱ تاریخچه ۳

۱.۲ کاربردهای تراهرتز ۵

۱.۲.۱ کاربرد نجومی ۵

۱.۳ اجزا تراهرتز ۸

۱.۳.۱ سنسورهای (آشکارسازها) تراهرتز ۸

۱.۳.۱.۱ سنسورهای نیمه رسانای هترودین ۹

۱.۳.۱.۲ سنسورهای ابر رسانای هترودین ۹

۱.۳.۱.۳ آشکارسازهای مستقیم ۹

۱.۳.۲ مولدهای تراهرتز ۱۱

۱.۳.۲.۱ منابع الکترونیکی حالت جامد ۱۱

۱.۳.۲.۲ منابع تیوبی ۱۱

۱.۳.۲.۳ منابع اپتیکی ۱۱

فصل دوم : روش ها و تکنیک های تولید تراهرتز ۱۳

۲.۱ مقدمه ۱۴

۲.۲ تکنیک های تولید تراهرتز ۱۶

۲.۲.۱ لیزرهای کاسکاد کوانتوم ۱۷

۲.۲.۲ فوتو میکسرها ۱۷

۲.۳ تولید تشعشعات تراهرتزی از طریق روش‌های اپتیکی غیرخطی ۱۹

۲.۳.۱ تولید امواج تراهرتز با استفاده از روش یکسوسازی اپتیکی ۱۹

۲.۳.۱.۱ مباحث بنیادی ۱۹

۲.۳.۱.۲ تطابق سرعت(فاز) ۲۲

۲.۳.۱.۳ تولید امواج تراهرتز باند باریک ۲۳

۲.۳.۲ تولید امواج تراهرتز با استفاده از روش DFG و TPO ۲۵

۲.۴ آشکارسازی و سنتز امواج تراهرتز ۲۷

فصل سوم : آنالیز روش غیرخطی اپتیکی ۳۰
۳.۱ مقدمه ۳۱
۳.۱.۱ مروری کلی بر مبحث اصلی ۳۳
۳.۲ برهم کنش غیرخطی امواج هدایت شده ۳۴
۳.۲.۱ معرفی ۳۴
۳.۲.۲ تئوری اپتیک غیرخطی ۳۴
۳.۳ تولید فرکانس تفاضل ۴۰
۳.۳.۱ تکنیک های تطابق فاز ۴۴
۳.۳.۱.۱ تطابق فاز دوشکستی ۴۴
۳.۳.۱.۲ تطابق شبه – فاز ۴۶
۳.۳.۳.۳ تطابق فاز موجبری ۴۷
۳.۳.۳.۳.۱ اپتیک غیرخطی در موجبرها ۴۸
۳.۳.۲ تولید تراهرتز بر مبنای DFG ۵۰
۳.۳.۲.۱ تولید تراهرتز در موجبرها ۵۲
۳.۴ نتیجه‌گیری ۵۵

منابع و ماخذ ۵۶

فصل اول

معرفی تراهرتز ، اجزا و کاربردهای آن

۱.۱ مقدمه:

ناحیه‌ی تراهرتز ، طیف های الکترومغناطیسی رنج فرکانسی تقریبی بین ۰/۱ تا ۱۰ تراهرتز را پوشش می-دهد که در طبقه بندی بین حوزه‌ی مایکروویو و مادون قرمز قرار می‌گیرد که اخیرا این حوزه تا ۴۰ و ۵۰ تراهرتز گسترش یافته است. منابع این حوزه باعث پیدایش کاربردهای فراوانی شده اند که می توان به طیف سنجی که به منظور مطالعه‌ی حامل‌های سیال و سیالات بین مولکولی مایعات اشاره کرد. در طیف سنجی تراهرتز، از فوتون هایی با سطح انرژی یک میلی الکترون ولت استفاده می شود. این میزان انرژی از این نظر قابل توجه است که برای آموزش جنبه‌های مهمی از فیزیک چگال ماده به کار می رود. همچنین این سطح انرژی به اندازه‌ی کافی قوی نیست که ساختارهای ارگانیکی را از بین ببرد، در نتیجه جایگزین بسیار خوبی برای اشعه ایکس و تصویربرداری های پزشکی خواهد بود.

از دیگر ویژگی‌های طیف سنجی تراهرتزی این است که به جای اندازه گیری شدت پالس های تراهرتز، میدان الکتریکی را اندازه گیری می‌کند. این بدان معنی است که علاوه بر دسترسی اطلاعاتی همچون تغییرات دامنه، تغییرات فاز میدان الکتریکی پالسهای گذرنده در محیط را هم می‌توان اندازه گرفت. یعنی می‌توان همزمان قسمت حقیقی و موهومی ضریب انکسار را مورد بررسی قرار داد. این گونه اطلاعات به منظور نشان دادن ساختار ذاتی کریستال ها مورد بررسی قرار می‌گیرند [۱] .

۱.۱.۱ تاریخچه :

اولین باری که لغت یا عبارت تراهرتز استفاده شد، مربوط به کاری است که جی دبلیو فلمینگ [1] در سال ۱۹۷۴ در توصیف حیطه فرکانسی خط طیفی تداخل سنج میکلسون [2] انجام داد. یک سال قبل از آن فردی به نام کرکمان [3] واژه تراهرتز را برای محدوده فرکانسی آشکارسازهای دیودی تماس نقطه‌ای در کنفرانس IEEE به کار برد. اشلی و پالکا [4] از این عنوان برای اشاره به فرکانس رزنانس لیزر آبی در تحلیل مشابهی استفاده کردند. طیف شناسان پیش از آن کلمه تراهرتز را برای فرکانس های ساطع شده زیر مادون قرمز استفاده می‌کردند و بر آن تاکید داشتند. امروزه تراهرتز به امواج زیرمیلیمتری انرژی که بین محدوده طول موجی $1000-100\mu m$ ، ($300GHz-3THz$) قرار دارند اطلاق می‌شود. (زیر ۳۰۰ گیگاهرتز به باند موج میلیمتری می‌رسیم که در این قسمت برای راحتی کار۳۳۰ گیگاهرتز فرض می‌کنیم که محدوده باند $WR-3$ است.) و (بالای۳ تراهرتز که ما در این متن۱۰ تراهرتز فرض خواهیم کرد، هنوز حوزه ای ناشناخته و تحقیق نشده است.) همچنین تعریف مشخصی برای مرز بین امواج زیرمیلیمتری و زیر مادون قرمز نشده است و تا حدودی مبهم است. انتخاب متدی که برای کار کردن در این زمینه ارائه خواهد شد، (فوتون یا موج) وابسته به ابزاری است که از آن استفاده می‌کنیم.

با وجود تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه امواج تراهرتز که می‌توان گفت از دهه ۲۰ انجام شده است، هنوز طیف فرکانسی آن به عنوان کم پذیرفته شده ترین ناحیه از امواج الکترومغناطیسی باقی مانده است.

همچنین محدوده طول موجی آن بین محدوده ی مایکروویو و تکنولوژی های نوری شناخته شده قرار گرفته است که این امواج در فضای جوی خاصی قابلیت انتشار دارند (که در شکل های زیر نشان داده شده است) و این مهم باعث شده تا تاکید تجاری کمی روی سیستم های تراهرتز صورت گیرد که شاید به خاطر این قضیه در آینده شاهد پیشرفت های منحصر بفردی در زمینه تکنولوژی و علوم باشیم.

---

[1] J.W Fleming
[2] Michelson
[3] Kerecman
[4] Ashley&Palka

۳.۴ نتیجه‌گیری :

وابستگی توان خروجی به فرکانس تراهرتز نشان دهنده‌ی این موضوع است که هرچه فرکانس تفاضل طول موج اپتیکی بیشتر شود، توان خروجی نیز بیشتر خواهد شد. البته با در نظر گرفتن تبدیل یک به یک فوتون در فرآیندی که دو فوتون اپتیکی می‌تواند یک فوتون تراهرتزی را تولید کند، می‌توانستیم این قضیه را پیش بینی کنیم. البته برای راندمان تبدیل فوتونی مشابه، هر چه فرکانس فوتونی تراهرتز بالاتر رود، انرژی بیشتری نیز خواهیم داشت. در واقع این یکی از مزایای اصلی تولید تراهرتز بر مبنای DFG در تقابل با تکنیک‌های فوتومیکسینگ می‌باشد که در آن تکنیک‌ها هر چه فرکانس بالاتر می‌رفت، راندمان کاهش می‌یافت.

منابع و ماخذ :

[1] Peter H. Siegel, Fellow, IEEE, 2002, Terahertz Technology, IEEE Transaction On Microwave Theory And Techniques, Vol. 50, No. 3,March 2002.

[2] Zhipeng Wang, Student Member, IEEE, 2010, Generation Of Terahertz Radiation via Nonlinear Optical Methods, IEEE Transaction On Geoscience and Remote Sensing, Vol. 1, No 1, Nov 2010.

[3] Marandi Alireza, 2008, Design and Modeling of Semiconductor Terahertz Sources Based On Nonlinear Difference-Frequency Mixing, University of Victoria.

[4] Y. J. Ding, 2007, High power tunable terahertz sources based on parametric processes and applications, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 13, no. 3, pp. 705–720, 2007.

[5] K. L. Vodopyanov and P. G. Schunemann, Efficient difference-frequency generation of 7- 20 μm radiation in CdGeAs2, Optics Letters, vol. 23, no. 14, 1998.

[6] R. W. Boyd, Nonlinear Optics. Academic Press, 2003.

[7] A. Yariv, Optical Electronics in Modern Communications. Oxford, 1997.

[8] J. E. Schaar, K. L. Vodopyanov, and M. M. Fejer, Intracavity terahertz-wave generation in a synchronously pumped optical parametric oscillator using quasiphase-matched GaAs, Optics Letters, vol. 32, no. 10, pp. 1284–1286, 2007.

[9] M. M. Fejer, G. A. Magel, D. H. Jundt, and R. L. Byer, Quasi-phase-matched second harmonic generation: tuning and tolerances, IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 28, no. 11, 1992.

[10] A. S. Kewitsch, M. Segev, and A. Yariv, Tunable quasi-phase matching using dynamic ferroelectric domain gratings induced by photorefractive space-charge fields, Applied Physics Letters, vol. 64, no. 23, 1994.

[11] G. P. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics. Academic Press, 1995.

[12] U. Peschel, K. Bubke, D. C. Hutchings, J. S. Aitchison, and J. M. Arnold, Optical rectification in a travelling-wave geometry, Physical Review A, vol. 60, no. 6, pp. 4918–4926, 1999.

[13] Jie Shan and Tony F. Heinz, Terahertz Radiation from Semiconductors.

[14] Tomiwa Ajagbonna, 2011, Investigate the Generation and Detection of THz Pulse, Stellenbosch University.

[15] Daryoosh Saeedkia and Safieddin Safavi-Naeini,2010, Generation and Detection of Terahertz Waves using Optoelectronic Techniques: Towards Terahertz Photonics.

[16] Jaehun Parka, Chul Hoon Kimb, Junghwa Leeb, Heung-Sik Kanga, Changbum Kima, Bongsoo Kima, and Taiha Joob, 2010, Searching for New THz Science.

[17] S. H. Wang, F. A. Douseri, J.Z. Xu, and X.-C. Zhand, 2001, Application of Nonlinear Optics to the Generation and Detection of THz Radiation