



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

بررسی مواد در فرکانس های تراهرتز

واستخراج پارامترهای آن

پایان نامه کارشناسی

گرایش مخابرات

استاد راهنما

دکتر حبیب الله زلفخانی

گرد آورندگان

سیدسینا سیدمحمدی فرد

محسن ذوالفقاری

شهریور ماه ۱۳۹۱



**Engineering Faculty**

**Zanjan University**

**Analysis and Extraction of Material  
Parameters at Terahertz Frequencies**

**A Thesis Presented for B.S Degree  
Electrical Engineering – Communication**

**By**

**Seyed Sina Seyed Mohammadi Fard**

**Mohsen Zolfaghari**

**Supervisor**

**Dr. Habibollah Zolfkhani**

**September 2012**

سیاس و ستایش مرخداي راجل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است

وانوار حکمت او در دل شب تار، درخشان.

آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود

و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند...

پدرانمان

مسادانمان

استادانمان

## تقدیر و تشکر

در اینجا، فرصت را غنیمت شمرده و از زحمات همه کسانی که بطور مستقیم و

غیر مستقیم ما را در تهیه و تنظیم این مجموعه حمایت و همراهی کردند،

تشکر می نمایم.

ابتدا باید با تقدیم این پروژه به **پدر و مادر** خود مراتب سپاس و قدردانی خود را اظهار نمایم،

هر چند پاسخی ناچیز در مقابل زحمات و حمایت های ایشان است.

همچنین باید از مهندس محمدباقر حیدری، مهندس مجتبی امیراصلان پور

و مهندس فرزاد امیری که مساعدت های ایشان در این مدت شامل حال ما شد، تشکر نمایم.

در نهایت بر خود لازم می داریم از زحمات بی دریغ استاد عزیزمان

**جناب آقای دکتر حبیب الله زلفخانی** که حمایت های ایشان در طول دوره کارشناسی

و بخصوص پروژه کارشناسی همواره پشتوانه ای بود برای طی این مسیر سخت و طولانی.

سید سینا محمدی فرد

محسن ذوالفقاری

شهریور ۱۳۹۱

## فهرست مطالب

### عنوان ..... صفحه

۱ فصل اول : مقدمه ای بر امواج تراهرتز .....

۶ فصل دوم : انتشار امواج تراهرتز در فضا .....

۲-۱- کاربردها .....

۲-۲- سیستم انتشار .....

۲-۳- عوامل مؤثر بر انتشار .....

۲-۴- سیستم طیف سنجی تراهرتز .....

۱۴ فصل سوم : محاسبه پارامترهای مواد به روش شبه اپتیکی .....

۱۵ ۱-۳- معرفی .....

۱۶ ۲-۳- کمیت های الکترومغناطیسی .....

۱۸ ۳-۳- روش های اندازه گیری .....

۲۴ ۴-۳- ضریب کیفیت تشدید گر .....



عنوان ..... صفحه

فصل چهارم : محاسبه پارامترهای مواد از طریق ضرایب انتقال وانعکاس ..... ۳۰

۴-۱- ثبت طیف میدان الکتریکی برای محاسبه ضریب انتقال ..... ۳۱

۴-۲- طیف سنجی بازتاب امواج تراهرتز ..... ۳۸

۴-۳- تعیین ضریب شکست وامپدانس موج ..... ۴۶

۴-۴- روش های آزمایشی منتخب ..... ۴۸

۴-۵- نتایج آزمایش ها ..... ۴۸

۴-۵-۱- ضرایب انتقال وانعکاس اکوی اصلی ..... ۴۸

۴-۵-۲- ضرایب انتقال اکوی اصلی و اکوی اول ..... ۵۱

۴-۵-۳- ضرایب انتقال نمونه ها با ضخامت های متفاوت ..... ۵۲

فصل پنجم : محاسبه تضعیف امواج تراهرتز در موجبر ..... ۶۰

۵-۱- معرفی موجبر گوبائو ..... ۶۱

۵-۲- فرضیات مسأله ..... ۶۲

عنوان ..... صفحه

۶۳

۳-۵- محاسبه میدان های موجبر

۶۹

۴-۵- نتایج و بحث

۷۸

فهرست منابع و مآخذ

# پایان نامه کارشناسی

## فهرست

## اشکال، نمودارها و جداول



## اشکال

- ۱-۱- طیف الکترومغناطیسی ..... ۳
- ۱-۲- سیستم انتشار امواج تراهرتز در فضا ..... ۷
- ۲-۲- سیستم طیف سنجی تراهرتز THz-TDS ..... ۱۳
- ۱-۳- نمودار تشعشع تداخل سنج دو پرتوی مایکلسون ..... ۱۸
- ۲-۳- طیف نگار MZI برای محاسبه ضرایب شکست وتلفات مایعات ..... ۲۲
- ۳-۳- طیف نگار MZI برای سنجش جامدات ..... ۲۳
- ۴-۳- نمونه آزمایشگاهی طیف نگار MZI ..... ۲۳
- ۵-۳- تشدیدگر باز هم محور فابری - پروت ..... ۲۴
- ۶-۳- رزوناتور باز نیمه کرووی ..... ۲۵
- ۱-۴- مسیر طی شده توسط امواج تراهرتز بین آنتن های گیرنده و فرستنده ..... ۳۱
- ۲-۴- روند محاسبه ضریب شکست مختلط مواد در مواد باریک الکترومغناطیسی ..... ۳۸
- ۳-۴- شکل هندسی بازتاب امواج تراهرتز ..... ۳۹
- ۴-۴- دستگاه بازتاب تراهرتز لایه ای به ضخامت  $2 \text{ mm}$  به عنوان جداکننده پرتو ..... ۴۰
- ۵-۴- ضریب شکست n، امپدانس Z، نفوذپذیری الکتریکی  $\epsilon$  و نفوذپذیری مغناطیسی  $\mu$  ..... ۵۰
- نمونه ZnTe مورد بررسی. ..... ۵۰
- ۶-۴- ضریب شکست n و امپدانس Z نمونه  $\text{TmFeO}_3$  ..... ۵۱
- ۷-۴- ضریب شکست n و امپدانس Z نمونه یاقوتی ..... ۵۲

فهرست اشکال ، نمودارها وجداول

۴-۸- ضریب شکست  $n$  و امیدانس  $Z$  نمونه‌ی تفلونی..... ۵۴

۴-۹- خطاهای منسوب به  $\frac{\Delta n}{n}$  (الف) و  $\frac{\Delta z}{z}$  (ب) بر حسب امیدانس معکوس ..... ۵۸

۵-۱- الف- آرایش فضایی خط انتقال گوبائو اصلاح شده..... ۶۲

۵-۱- ب- قسمت عرضی خط انتقال گوبائو اصلاح شده..... ۶۲

۵-۲- تلفات انتشار  $\alpha(f)$  خط انتقال گوبائو و خط انتقال اصلاح شده..... ۷۰  
با مدل‌های گوناگون رسانایی.

۵-۳- توزیع نرمالیزه‌ی  $E_r$  خط انتقال Goubau و خط انتقال اصلاح شده ..... ۷۱  
در برابر فاصله‌ی محوری.

۵-۴- وابستگی فرکانسی تلفات انتشار خط انتقال Goubau اصلاح شده..... ۷۲  
 $a=0.08\text{mm}, 0.1\text{mm}, 0.12\text{mm}$

۵-۵- وابستگی فرکانسی تلفات انتشار خط انتقال Goubau اصلاح شده..... ۷۳  
 $a=0.1\text{mm}, 0.16\text{mm}, 0.14\text{mm}, b=0.12\text{mm}$

۵-۶- وابستگی فرکانسی تلفات انتشار خط انتقال Goubau اصلاح شده..... ۷۴  
 $a=0.1\text{mm}, b=0.12\text{mm}, c=0.16\text{mm}, 0.18\text{mm}, 0.2\text{mm}$  و  $R=10\text{mm}$

۷۵-۷-الف- وابستگی فرکانسی تلفات انتشار خط انتقال Goubau اصلاح شده با فلزات گوناگون....

$$a=0.1^{\text{mm}}, b=0.12^{\text{mm}}, c=0.2^{\text{mm}}, R=10^{\text{mm}}$$

(جنس دی الکتریک، تفلون است)

۷۶-۷-ب- وابستگی فرکانسی تلفات انتشار خط انتقال Goubau اصلاح شده با عایق های متفاوت....

$$a=0.1^{\text{mm}}, b=0.12^{\text{mm}}, c=0.2^{\text{mm}}, R=10^{\text{mm}}$$

(جنس فلز، مس است)

۷۷-۸- مقایسه‌ی نتایج محاسبه‌ی تلفات در خط انتقال Goubau اصلاح شده .....

## نمودارها

۹-۱-۲- نمودار تلفات در فضا در فرکانس و فواصل مختلف ، بدست آمده توسط طیف نگار .....

۲۰-۱-۳- تداخل نگاشتهای نا متقارن با مدولاسیون فاز .....

ثبت شده توسط تداخل سنج قطبی برای DFTS.

۲۷-۲-۳- رابطه ضریب تلفات با فرکانس برای مواد مختلف.....

۲۷-۳-۳- رابطه ضریب شکست با فرکانس برای مواد مختلف.....

۳-۴- رابطه ثابت دی الکتریک با فرکانس برای مواد مختلف..... ۲۹

۴-۱- نمودار تابع خطای  $\delta$  بر حسب قسمت های حقیقی وموهومی ..... ۳۵

ضریب شکست مختلط  $\tilde{n}_2$ .

۴-۲- طیف بازتاب های متوالی از دو سطح لایه سیلیکونی..... ۴۴

۴-۳- نمودار ضریب شکست محاسبه شده برای سیلیکون توسط الف) اندازه ب) فاز..... ۴۵

## جداول

۱-۱- ناحیه تراهرتز در واحدهای مختلف..... ۳

۴-۱- خلاصه ی خواص مربوط به سه روش ارائه شده ..... ۵۹

# پایان نامه کارشناسی

## فصل اول

### مقدمه ای بر امواج تراهرتز

امواج تراهرتز در طیف الکترومغناطیسی بین باند های امواج میکروویو و فرسرخ قرار دارد .

موضوعات تحقیقاتی مهم به شمار می رود .

درسال های اخیر توجه به تکنولوژی تراهرتز افزایش یافته است که کاربرد های گوناگونی در رشته های

بیو تکنولوژی ، طیف نگاری ، عکس برداری و ... دارد . [1]

امروزه گسترش فناوری در بازه فرکانس تراهرتز بسیار سریع تر شده است . در مقایسه با امواج

میکروویوی این رنج ، پهنای باند بیشتری را ارائه می کند .

تا دوره های اخیر دسترسی به امواج تراهرتز به دلیل پایین بودن بازده و توان فرستنده ها و گیرنده های

مخابراتی تقریباً غیر ممکن بود .

در آغاز دهه ۱۹۶۰ توجه به این بازه فرکانسی بیشتر شد و این بدلیل قرار گرفتن طیف فرکانسی بعضی از

مواد محیطی و گاز های ناشی از بعضی سیارات و اجرام آسمانی بود ؛ به این دلیل اخترشناسان اولین

افرادی بودند که به بررسی و توجه به این بازه پرداختند .

کارهایی که در سال ۱۹۷۵ برروی نور رسانی پیکوثانیه ای در سیلیکون انجام شد ؛ پیش درآمدی برای

تولید فرستنده ها و گیرنده های الکترو- اپتیکی<sup>۱</sup> و رساناهای نوری<sup>۲</sup> در رنج فرکانسی تراهرتز بود . پس از

آن توجهات به سمت این رنج بیشتر جلب شده و کارهایی برای افزایش حساسیت و بازده این فرستنده

وگیرنده ها و مدولاتور های آن ها انجام شد .

در شکل نشان داده شده در زیر فرکانس های پایین تر از این رنج یعنی فرکانس های رادیویی<sup>۳</sup> برای امواج

امواج رادیویی AM، FM که با عنوان امواج میکروویو<sup>۴</sup> نامیده می شوند از منابع الکتریکی که در اثر

حرکت الکترون می باشند استفاده می کنند .بیشتر مواد دی الکتریک در این فرکانس ها هادی نور می

باشند .

رنج های بالاتر این شکل با عنوان فرکانس های نوری معروف هستند که شامل تشعشعات مادون قرمز<sup>۵</sup> ،

نور مرئی و فرابنفش<sup>۶</sup> می باشند . در این رنج امواج از طریق انتقال کوانتومی الکترون از تراز به تراز

دیگر تولید می شوند که امواج پر قدرتی هستند که از آن ها در لیزر ها استفاده می شود . [2]

<sup>1</sup> Electro - Optic

<sup>2</sup> Photoconductive

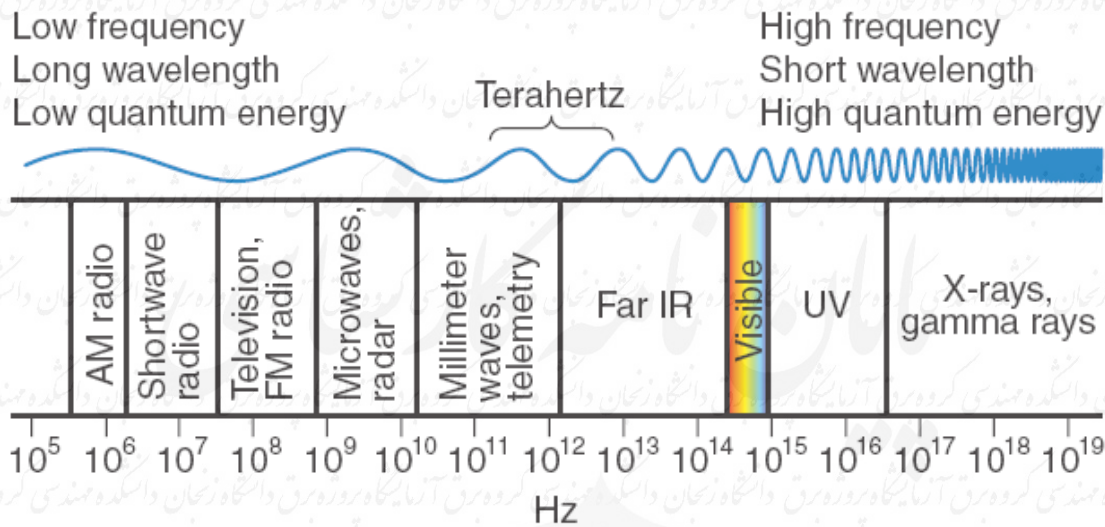
<sup>3</sup> RF's Frequencies

<sup>4</sup> Microwave

<sup>5</sup> IR radiation

<sup>6</sup> UV radiation





شکل (۱-۱). طیف الکترومغناطیسی

فرکانس (THz)	عدد موج ( $cm^{-1}$ )	طول موج ( $\mu m$ )	انرژی (meV)	دما (K)
۰/۱	۳/۳۳	۳۰۰۰	۰/۴۱	۵
۱	۳۳/۳	۳۰۰	۴/۱	۵۰
۱۰	۳۳۳	۳۰	۴۱	۵۰۰
۲۹/۷	۹۹۰	۱۰/۱	۱۲۳	
۲۸۲	۹۳۹۸	۱/۰۶۴	۱۱۶۰	
۴۷۴	۱۵۷۹۷	۰/۶۳۳	۱۹۶۰	

جدول (۱-۱). ناحیه تراهرتز در واحدهای مختلف.

گفتنی است در جدول فوق رابطه انرژی و دما بصورت زیر است:

$$E = k_B T \quad (1-1)$$

که در آن  $k_B$  ثابت بولتزمن<sup>۱</sup> می باشد.

<sup>1</sup> Boltzmann

مانند تابش مادون قرمز و ریزموج ، تابش تراهرتز نیز در خط دید مستقیم حرکت می کند و یک تابش غیر یونیزه کننده است. مانند تابش ریزموج ، تابش تراهرتز می تواند در گستره ی وسیع و متفاوتی از مواد غیر فلزی نفوذ کند . این امواج می توانند از میان لباس، کاغذ ، مقوا ، چوب ، ساختمان های سنگی ، پلاستیک ها و سرامیک ها عبور کند. عمق نفوذ آن کمتر از تابش ریزموج خواهد بود . نفوذ تابش تراهرتز در مه و ابر ها ناچیز است و نمی تواند در آب مایع و فلز نفوذ کند .

همان طور که در شکل (۲-۱) در فصل بعد می بینید ، جو زمین یک جاذب قدرتمند برای تابش تراهرتز در خطوط جذبی خاصی از بخار آب است، بنابراین گستره تابشی تراهرتز به قدری محدود می شود که دیگر نمی تواند در ارتباطات راه دور مفید باشد. به هر حال، در فاصله حدود ۱۰ متر این گستره نور ممکن است هنوز اجازه کاربرد های مفید فراوان دیگری در سامانه های تصویربرداری و ساخت پهنای باند بالای شبکه بی سیم را بدهد. به علاوه، تولید و شناسایی تابش همدوس تراهرتز یک چالش فناوری به حساب می آید ، اگر چه امروزه منابع تجاری ارزان قیمت در گستره فرکانسی ۳۰۰-۱۰۰ گیگاهرتز موجود است، که شامل ژیروترون ها<sup>۱</sup>، نوسان سازهای عقب گرد<sup>۲</sup> و دیوهای تشدیدی- تونلی<sup>۳</sup> هستند.

همچنین پژوهشگران پزشکی اعتقاد دارند که اشعه تی می تواند درمان سرطان را دگرگون کند و تولید داروهای جدید را سرعت بخشد. پرتوهای تی به خاطر فرکانس شان ( که حدود یک تریلیارد سیکل در ثانیه یا یک «تراهرتز» است ) به این نام خوانده شده اند.

یکی از این خصوصیات این است که سلول های سرطانی نسبت به سلول های سالم محتوای آب بیشتری هستند . اکنون دانشمندان فکر می کنند که می توانند از این خصوصیت برای درمان سلول های سرطانی با پرتوهای تی استفاده کنند . پروفیسور پیتر وایتمن از دانشگاه لیورپول توضیح می دهد ؛ «پرتوهای تراهرتزی به وسیله آب جذب می شوند، و سلول های سرطانی آب را در خود جمع می کنند، بنابراین پرتوهای تی در این سلول ها جذب می شوند و آنها را می کشند.» پروفیسور وایتمن یکی از اعضای گروهی است که آزمایش هایی را در آزمایشگاه دارسبری نزدیک وارینگتون در چشایر اسکاتلند با استفاده از یک مولد پرتوهای تی انجام می دهند . این مولد پرتوهای تی ، قوی ترین مولد پرتوهای تی در اروپا و اولین مولدی است که بر کاربردهای پزشکی متمرکز می باشد . وایتمن می گوید مسأله اصلی در ابتدا آزمودن بی خطر بودن تکنولوژی

<sup>1</sup> Gyrotron

<sup>2</sup> Backward Wave Oscillator

<sup>3</sup> Resonant-Tunneling Diode

تراهرتز است. «اولویت نخست این است که حدود ایمن قرارگرفتن انسان به پرتوهای تراهرتزی و عواقب قرار گرفتن مکرر به مقادیر کم این پرتوها معلوم شود.» او می گوید؛ «در مرحله بعد قصد داریم این امکان را مورد بررسی قرار دهیم که آیا تابش پرتوهای تراهرتزی پر قدرت ممکن است به عنوان درمانی برای سرطان پوست به کار رود.» اشکال متعارف تر درمان سرطان نیز ممکن است از پرتوهای تی سود ببرند. یکی از مشکلات اصلی در جراحی سرطان اطمینان از این امر است که همه سلول های سرطانی از بدن بیمار خارج شده اند در نتیجه سرطان در مدت کوتاهی عود نمی کند. تصویربرداری با پرتوهای تی می تواند به جراحان نشان دهد که بافت سالم در کجا تمام می شود و بافت سرطانی شروع می شود، و به این ترتیب بر بخت خارج کردن همه بافت سرطانی افزوده می شود. سال های گذشته پژوهشگران در یک شرکت تکنولوژی تراهرتز واقع در کمبریج نتایج یک بررسی را منتشر کردند که نشان می داد پرتوهای تی در مشخص کردن سلول های سرطانی در نمونه های بافتی برداشته شده از مبتلایان به سرطان کارایی خوبی دارند. اشعه تی می تواند نشان دهد یک دارو تا چه حد در بدن انسان تاثیرگذار است.

### دگرگونی تولید داروهای جدید

اسکن کننده های اشعه تی تنها شیوه ای نیست که تکنولوژی تراهرتزی می تواند علوم پزشکی را دگرگون کند. با قرار دادن داروهای جدید در معرض پرتوهای تی شرکت های داروسازی می توانند خصوصیات شیمیایی ظریفی را مشخص کنند که می تواند به طور ریشه ای بر رفتار آنها در بدن انسان تاثیر بگذارد. پالس های پرتوهای تی برای ایجاد ارتعاش در مولکول های تشکیل دهنده دارو به کار می روند و تحلیل کامپیوتری این ارتعاشات نشان می دهد که تاثیرات پیوندهای شیمیایی را مشخص کنند که در غیر این صورت ناشناخته می ماند. این امر به نوبه خود می تواند بر قدرت دارو هنگام مصرف آن به وسیله بیمار تاثیر بگذارد. دانشمندان از پرتوهای تی برای بررسی دو داروی ظاهراً مشابه درمان کننده زخم معده استفاده کرده اند. تجزیه و تحلیل به وسیله پرتوهای تی نشان دهنده تفاوت ساختار مولکولی آنها بود که به میزان های متفاوت اثربخشی در بیماران می انجامد. تکنولوژی پرتوهای تی به شرکت های دارویی اجازه خواهد داد داروهای کمتر مؤثر را در همان مراحل مقدماتی کنار بگذارند. این تکنولوژی همچنین به حفظ کنترل کیفیت در فرآیند تولید کمک می کند.

# پایان نامه کارشناسی

## فهرست

## منابع و مآخذ

- [1] Zhihui Wang, Yong Zhang, Ruimin Xu, Weigan Lin ” *Accurate Culculation of Terahertz Attenuation of a Dielectric-Coated Metal Wire With An Intervening Air Gap Using The Engineering Approach* ” Optics Communications 284 (2011) 3990-3995
- [2] Michael J. Fitch & Robert Osiander ; ”*Terahertz Waves for Communications and Sensing*” ; Johns Hopkins APL Technical Digest , Volume 25 , November 4 (2004) .
- [3] Matthais Clemens Hoffmann ; ”*Novel Techniques in THz-Time-Domain-Spectroscopy*” ; Freiburg , May 2006.
- [4] Liu Chao , Benjamin Yu , Anjali Sharma & Mohammed N. Afsar ; ”*Dielectric Permittivity Measurements of Thin Films at Microwave and Terahertz Frequencies*” ; Proceedings of the European Microwave Conference , October 2011.
- [5] Ziling Li , Mohammed N. Afsar & Konstantin A. Korolev ; ”*Permeability Measurements from Free-space Technique and Theoretical Simulation in Millimeter-wave Frequencies Range* ” ; IEEE 2009 , Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 2009. IRMMW-THz 2009. 34th International Conference on.
- [6] Konstantin A. Korolev & Mohammed N. Afsar ; ”*Complex Dielectric Permittivity Measurements of Materials in Millimeter Waves*” , IEEE 2005 , 594 - 595 vol. 2.
- [7] Shu Chen , Kim N. Nguyen & Mohammed N. Afsar ; ”*Complex Dielectric Permittivity Measurements of Glasses at Millimeter Waves and Terahertz Frequencies*” ; Department of Electrical and Computer Engineering , High Frequency Materials Measurement and Information Center , Tufts University , 161 College Ave, Medford, Massachusetts 02155, USA.



[8] David W. Hahn ; ”*Light Scattering Theory*” ; Department of Mechanical and Aerospace Engineering , University of Florida , (dwhahn@ufl.edu) , July 2009.

[9] Mohammed Nurul Afsar ; ”*Dielectric Measurements of Millimeter-Wave Materials*” ; IEEE transactions on microwave theory and techniques , vol. mtR-32 , no. 12 , December 1984.

[10] Mohammed Nurul Afsar ; ”*Millimeter-Wave Dielectric Measurement of Materials*” , IEEE , Vol. 73, No. 1, January 1985

[11] G. D. Boyd & J. P. Gordon ; ”*Confocal Multimode Resonator For millimeter through optical wavelength Masers*” ; Manuscript September 1960 .

[12] Lionel Duvillaret , Frederic Garet & Jean-Louis Coutaz ; ”*A Reliable Method for Extraction of Material Parameters in Terahertz Time-Domain Spectroscopy*” ; IEEE journals of selected topics in quantum electronics , Vol.2 , No.3 , September 1996 .

[13] D.R. Smith, S. Schultz, P. Markoš, C.M. Soukoulis, Phys. Rev. B 65 (2002) 195104

[14] K.N. Kocharyan, M.N. Afsar & I.I. Tkachov. IEEE Trans. Magn. 35 (1999) 2104.

[15] J.B. pendry, Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 3966.

[16] H. Němec, P. Kužel, F. Garet, I. Duvillaret, Appl. 43 (2004) 1965



- [17] Y. Ino, R. Shimano, Y. Svirko & M. Kuwata-Gonokami, Phys. Rev. B70 (2004) 155101.
- [18] M. Khazan, R. Meissner, I. Wilke, Rev. Sci. Instrum. 72 (2001) 3427.
- [19] Liu Qing-Lun , Wang Zi-Cheng , Liu Pu-Kun ; ”Simulation of the Backward Wave Oscillator as a THz Radiation Source” ; Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2012 International Conference on , May 2012
- [20] P. Kužel, J. Petzelt, Ferroelectrics 239 (2000) 949.
- [21] A. Pashkin, E. Buixaderas, P. P. Kužel & M.-H. Liang, C.-T. Hu, I.-N. Lin, Ferroelectrics 254 (2001) 113.
- [22] T.-I. Jeon, D. Griscowsky, Appl. Phys. Lett. 72 (1998) 2259.
- [23] G. Grüner (Ed.); ”Millimeter and Submillimeter Wave Spectroscopy of Solids”, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.
- [24] Haixia Cui , Jianquan Yao & Chunming Wan ; ”The Study on THz Propagation Feature in Atmosphere” ; Journal of Physics ,Conference Series , 276(2011)012225.
- [25] H. Němec, F. Kadlec, P. Kužel, L. Duvillaret, J.-L. Coutaz, ” Independent Determination of The Complex Refractive Index And Wave Impedance By Time-Domain Terahertz Spectroscopy ” Optics Communications 260 (2006) 175-183.
- [26] Shu Chen , Konstantin A. Korolev , Joshua Kupersmidt , Kim Nguyen & Mohammed N. Afsar ; ”High-Resolution High-Power Quasi-Optical Free-Space Spectrometer for Dielectric and Magnetic Measurements in

*Millimeter Waves*” ; IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement , VOL. 58 , NO. 8 , August 2009 .

- [27] James R. Birch, George J. Simonis, M. N. Afsar, R. N. Clarke, J. M. Dutta, H. M. Frost, X. Gerbaux, A. Hadni, William F. Hall, Roland Heidinger, William W. Ho, C. R. Jones, Franz Koniger, Rick L. Moore, Hiroshi Matsuo, T. Nakano, Wolfgang Richter, Kiyomi Sakai, Michael R. Stead, Ulrich Stumper, R. S. Vigil, and Tom B. Wells ; ” *An Intercomparison of Measurement Techniques for The Determination of the Dielectric Properties of Solids at Near Millimetre Wavelengths*” ; IEEE Transactions ON Microwave theory and Techniques, VOL. 42 , NO. 6 , June 1994.

[28] <http://ieeexplore.ieee.org>