Ministry of Higher Education &
Scientific Research
University of Baghdad
Institute of laser for postgraduate studies

Drawn meta-material for electric response in the mid-IR

A Thesis submitted to the Institute of Laser for Postgraduate Studies, University of Baghdad in partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Science in Laser/ Electronic and Communication Engineering

By

Osama Thabit Naman

(B. Sc. 2009)

2012 AD *1433 AH*

Abstract

Meta-materials are usually metal-dielectric composites capable of achieving unique electromagnetic properties. These unique electromagnetic properties of meta-materials have attracted much interest. Although meta-material fabrication is developing, fabrication of large volumes of three-dimensional meta-materials for THz through to visible frequencies remains problematic. As methods such as lithography produce small-scale features required (100 nm - 100 μm), become impractical and/or uneconomical. To address this limitation, we have investigated fiber drawing as a means of producing large quantities of meta-materials.

The method is based on drawing micro-structured polymer optical fibers. But in which the holes that would form the micro-structure are filled with metal, making metal-polymer composites that form the meta-materials. Structures possible use this method including arrays of wires, which allow the permittivity to be tuned through the details of the wire diameter and spacing.

This thesis considers the extensions of this method in terms of structures that may be fabricated and frequencies for which interesting electromagnetic properties may be achieved. Fabrication involves the construction of a cm-scale preform which is heated and drawn to fiber, such that the structure is reduced in size. Fiber drawing may be accompanied by deformations to the structure, thus it becomes difficult to (i) make structures increasingly smaller, as would be required to create meta-materials for higher frequencies, and (ii) to make increasingly complex structures. The present work reports on progress in these respects. We investigate wire arrays with plasma frequencies towards the

mid infra-red (smaller sizes). To initially consider the dimensions of wire arrays required for a plasma frequency in the mid infrared, we began with the approximation for an array of thin wires where the spacing **a** is much larger than the wire diameter **d**. This yields the relationship between all **a** and **d**. Requiring that **a** be smaller than half the wavelength at the plasma frequency gives the limit of wire thickness for a given spacing of $d < 0.29a$.

The fabrication was performed using indium wires in PMMA background. The wires and fibers were drawn in several steps to reach minimum dimension spacing, with expected plasma frequencies in the mid-IR, around 12 THz. Arrays of fibres were used to create cm-scale samples for characterization using FTIR spectroscopy.

It is noted that the upper d/a limit may not be consistent with the thin-wire approximation, but is considered for practical reason as it allows higher plasma frequencies to be reached with larger structures. This approach predicts that wires with approximately 1 μm diameter and 6 μm spacing would produce a plasma frequency in the mid-IR, at 12 THz. Such a wire array was simulated using COMSOL, and the inferred plasma frequency agreed well with the approximation.

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد
معهد الليزر للدراسات العليا

تصنيع اشباه مواد استجابتها الكهربائية في منطقة الاشعة تحت الحمراء المتوسطة بطريقه السحب

رسالة مقدمة

إلى معهد الليزر للدراسات العليا /جامعة بغداد/ لاستكمال متطلبات نيل شهادة ماجستير علوم في الليزر /الهندسة الالكترونية والاتصالات

من قبل

أسامة ثابت نعمان

(بكلوريوس ٢٠٠٩)

١٤٣٣هـ ٢٠١٢م

الخلاصة

اشباه المواد هي متراكبة مكونة من معدن – عازل تتصف بخصائص كهرومغناطيسية فريدة. هذة الخصائص استقطبت الكثير من الاهتمام بتطوير اشباه المواد و تصنيعها بأحجام كبيرة بأبعاد ثلاثية لمديات استجابة تقع في المدى الطيفي THz (10^{12} هرتز) نزولاً الى المنطقة المرئية حيث يمثل تصنيع اشباه المواد لهذه المديات الطيفية و التي تستخدم "مثلاً" في النقش الطباعي مشكله تحتاج الى حل. حيث انّ الخصائص التصنيعيه لأشباه المواد هذه تكون بمقياس دقيق تقع ضمن (100nm - 100µm) و بالتالي يكون انتاجها غير عملي او غير اقتصادي. و للتغلب على هذة المُحَدِدات اتجهنا لدراسة و تصنيع أشباه المواد بأستخدام طريقة السحب.

تعتمد الطريقة على سحب الليف البصري للتركيب الدقيق للبوليمر حيث ان الفجوات التي تكوّن هذه التراكيب الدقيقة تملأ بالمعادن مكونة متراكبات من المعدن و البوليمر و الذي يكوّن اشباه المواد هذه. التراكيب المحتملة بأستخدام هذة الطريقة تتضمن صفوف من الاسلاك و التي تسمح بتنغيم السماحية للمادة من خلال تغيير اقطار الاسلاك و المسافات بين الاسلاك.

ان الرسالة الحالية اخذت بالأعتبار تطوير طريقة السحب هذه للوصول الى اشباه مواد استجابتها للخصائص الكهرومغناطيسية المرغوب بها. انّ عملية التصنيع تتضمن تكوين تراكيب بشكل قاعده بأبعاد بحدود السنتيمير تسخن و تسحب وبهذا التركيب يتقلص حجمهُ كثيراً. ان عملية السحب هذه قد تؤدي الى تحطم الاجزاء المسحوبة لهذا قد وضع هذا مُحَدِدات على ١) مقدار التقليص الحجمي للألياف حيث كلما قل حجم الليف المسحوب يكون نفاذاً لترددات عالية, ٢) المضي قدماً بتكوين تراكيب معقده.

ان العمل الحالي يوثق التقدم الحاصل بهذا الاتجاه. تم استخدام صفوف من الاسلاك لها تردد بلازمي بأتجاه منطقة الاشعة تحت الحمراء المتوسطة (الاحجام القليلة). للوصول الى شروط العمل المناسبة حيث تم جعل المسافة (a) بين الأسلاك اكبر بكثير من قطر السلك (d). انتج هذا علاقة بين (a و d) في العمل الحالي تقتضي شروط العمل ان تكون (a) اقل من نصف الطول الموجي عند التردد البلازمي و الذي يضع مقيدات على الاقطار للمسافات حيث $d < 0.29\ a$.

التصنيع نُفِذَ بأستخدام اسلاك من الانديوم في خلفية من البوليمر ال(PMMA). الاسلاك و الالياف سُحِبت على عدة مراحل للوصول الى مسافة بين الاسلاك حيث يتوقع ان تكون الاستجابه الكهربائية عند الاشعة تحت الحمراء المتوسطة تقريباً (12 THz). لقد اسْتُعمِلت مجموعة صفوف من الاسلاك استعملت لتصنيع عينات بأبعاد بحدود السنتيمتر لفحص الخواص بأستخدام مطياف او (FTIR).

لوحِظ ان الحد الاعلى للنسبة بين (d/a) قد لا تكون متساوقة مع نظرية التقريب للسلك الدقيق, و مع هذا فان الاختيار كان مناسباً للأغراض العملية لانه يسمح بالوصول الى ترددات بلازما عالية مع احجام تركيبية كبيرة. هذه الطريقة تنبئ بأن الاسلاك بأقطار و ابعاد ١ و ٧ مايكرون على التوالي يتيح تردد بلازمي يقع في منطقة الاشعة تحت الحمراء المتوسطة (12 THz). كذلك تم اجراء المحاكاة على هذه الصفوف من الاسلاك بأستخدام برنامج COMSOL وجدنا تطابقا كبيراً لترددات لبلازما مع التقريبات المقترحة.