الخلاصة

في هذه الدراسة، صُمم نموذجٌ مستشعرًا حيوي بلوريًا ضوئيًا مصغرًا، لتحديد تركيزات السكر في الدم بدقة وبشكل غير جراحي ولطيفٍ كبير منها. يتكون النموذج من شبكة عازلة ثنائية الأبعاد من زرنيخيد الغاليوم (GaAs) مُثبّتة ضمن خلفية هوائية، تتضمن تجويفًا مجهريًا للاستشعار مُحاذيًا مباشرةً لقناة بصرية مُوجّهة. لتعزيز الاستجابة البلازمونية وتحديد موقع المجال البصري بشكل أفضل،ُوضعت أقطابُ فضية متماثلة فوق التجويف وأسفله. يُحاكي تفاعل الضوء مع الدم المُحمّل بالجلوكوز من خلال حل معادلات ماكسويل باستخدام طريقة العناصر المحدودة ضمن منصة.COMSOL Multiphysics

يُحدّد معامل انكسار الدم تجريبيًا كدالة للطول الموجي وتركيز الجلوكوز ودرجة الحرارة. يُظهر تحليل النموذج ارتفاعًا رتيبًا في معامل الانكسار مع زيادة تركيز الجلوكوز، مما يؤكد ملاءمة هذا المقياس للكشف. أدى ضبط المعلمات الهيكلية إلى تصميم يعمل عند طول موجي رنيني يبلغ 1.52 ميكرومتر، محققًا عرضًا كاملاً عند نصف أقصى عرض (FWHM) يبلغ حوالي 1 ميكرومتر، ومعامل جودة مُقابل1400. أُجريت دراسات بارامترية مُكثفة لتقييم كيفية تأثير المعلمات الهيكلية الرئيسية - نصف قطر قضيب الفضة(r) ، ونصف قطر قطب البلورة(r_1) ، وعرض التجويف(d) ، والفصل الرأسي (z) على أداء المستشعر. سُجِّلت أعلى حساسية (S) بقيمة 500 نانومتر/وحدةRIU ، عند r_1 = 0.123 ميكرومتر و z=1.42ميكرومتر. انخفض حد الكشف (DL) إلى 2.75 × 10^{-4}وحدةRIU ، مع تحسن القيم عند أنصاف أقطار أصغر وهندسة مُحسّنة. ارتفعت النفاذية بشكل ملحوظ مع زيادة تركيزات الجلوكوز، وخاصةً عند التصاميم المُحسّنة من r وz.

قارنت الدراسة أيضًا بين GaAs و TiO_2و InP كمواد مرشحة للشبكة البلورية الفوتونية. نتج عن GaAsو InPعوامل جودة أعلى و FWHMأضيق، مما يشير إلى استقرار رنيني أفضل، بينما وفر TiO_2 نفاذية ذروة أقوى ولكن على حساب عرض طيفي أوسع و عامل جودة أقل، مما يشير إلى فقدان أعلى. أظهرت توزيعات المجال الكهربائي عند أطوال موجية وتركيزات متفاوتة حصرًا قويًا للضوء داخل التجويف واستجابة قابلة للقياس لتغيرات معامل الانكسار. تنبأت عمليات المحاكاة باستمرار بانزياحات حمراء في الأطوال الموجية الرنانة مع زيادة تركيز الجلوكوز، مما يعززمبدأ تشغيل المستشعر. يُظهر المستشعر الحيوي البلوري الضوئي المقترح إمكانات واعدة للغاية لسهولة دمجه في أدوات التشخيص المحمولة والقابلة للارتداء. بفضل حجمه الصغير، وحساسيته الفائقة، وعتبات الكشف المنخفضة جدًا، ونطاق الضبط الواسع، فهو مناسب بشكل خاص لمراقبة الجلوكوز المستمرة، مما يجعله مرشحًا ممتازًا لتحسين إدارة مرض السكري.