

## Abstract

Plasmonic nanostructures enhance light-matter interaction and bring it to a nanoscale. A governing mechanism is provided by the broadband Purcell effect, a spontaneous decay acceleration in presence of metallic nanoresonators. Focus on nanowire nanostructures and their fabrication techniques shows that it is the nanostructure shape which defines its unique specialization. After a review of semiclassical theory of Purcell effect, the distinct resonance properties are attributed to three types of nanostructures. We studied two of them for large aspect ratios and found striking difference in the way they couple to an emitter. Nanoring configuration shows strong resonance properties with multiple peaks in the spectrum of the normalized decay rate. Corresponding Purcell factor has multiple peaks depending on the nanoring major radius. In contrast, for the finite-metal nanowire the existing theory of the nanowire resonators predicts for large aspect ratios that the Purcell factor does not depend on the length of the nanowire and position of the emitter. We have checked the analytic results against a fully numerical model. Numerical results for the Purcell factor show its strong dependence on position of the emitter along the nanowire axis. We concluded that the analytic theory does not take into account a reflection from the ends of the nanowire. Subsequently, we have studied the Purcell factor dependence on geometry of the nanowire and emitter orientation. The excitation of the nanowire modes by the emitter polarization orthogonal to the nanowire axis can lead to the narrow band asymmetric plasmonic modes excitation in the nanowire. By suitable choice of emitter orientation both broadband and narrowband, spontaneous emission modification may result. For a suitable choice of nanowire parameters the broken symmetry of plasmon excitation results in cut anomalies occurring in the spectrum of the emitter normalized decay rate. This is similar to non-resonant anomalies observed in the efficiency of photonic gratings. The anomalies found in finite-length nanowires, however, have completely different nature, as they originate from interaction of two symmetric nanowire surface plasmon modes. The found new effect can be beneficial both for passive and active plasmonics due to possible polarization control of the spontaneous emission of quantum emitters. Additionally, the  $\beta$  - factor of the found asymmetric surface plasmon resonance has a value 0.88, which stipulates the possibility of designing an efficient nanolaser operating in single-mode regime. This value can be further optimized to achieve even higher efficiencies.

## Resumé (Danish)

Plasmoniske resonatorer styrker lys-stof interaktion og bringer den til en nanoskala. Den styrende mekanisme leveres af bredbånds Purcell effekten, som er en spontan acceleration af henfald ved tilstedeværelse af metalliske nanostrukturer. Fokus på nanotråds resonatorer og deres fremstillingsteknik viser, at det er dens form, der definerer den unikke specialisering af hver type nanostruktur. Efter overblik over den semiklassiske teori om Purcell effekten tilskrives de bestemte resonans egenskaber til tre typer af resonatorer. Vi undersøgte to af dem med store højde/bredde forhold og fandt en signifikant forskel i den måde, de kobles til en emitter. Nanoring konfigurationen indikerer stærke resonans egenskaber med en række maksima spektret af den normaliserede henfaldsrate. Tilsvarende har Purcell faktoren disse maksima afhængigt af nanoringens radius. I modsætning til finite-metal nanotrådene forudsiger teorien, at Purcell faktoren ikke afhænger af længden af nanotrådene og emitterens placering. Vi har sammenlignet analytiske resultater med en fuldt numerisk model. Numeriske resultater for Purcell faktoren viser dens stærke afhængighed af en emitterens position langs nanotrådenes akse. Vi konkluderede, at teorien ikke tager højde for en refleksion fra enderne af nanotrådene. Efterfølgende har vi undersøgt Purcell faktorens afhængighed af nanotrådens geometri og emitterens orientering. Excitation af nanotråds eigenmodes ved emitterens polarisering vinkelret på nanotrådens akse kan resultere i et snævert bånd af den asymmetriske plasmoniske exciterede tilstand i nanotrådene. Ved passende valg af emitterens orientering af både bredbånd og snævre bånd kan en modifikation af spontan emission opnås. For et passende valg af nanotrådens parametre resulterer den brudte symmetri af plasmon eksitering i cut anomalier, der findes i spektret af emitterens normaliserede henfalds rate, sammenligneligt med ikke-resonante anomalier, som kan blive observeret i effektiviteten af fotoniske gitre. Men de anomalier, der findes i finite længde nanotråde er af en helt anderledes natur, fordi de stammer fra interaktionen mellem to symmetriske nanotråds overfladeplasmon resonanssvingninger. Den opdagede, nye effekt kan være værdifuld for både passive og aktive plasmonics på grund af mulig polariserings kontrol over det spontane henfald af kvante emitterer. Derudover har  $\beta$  - faktoren for den fundne asymmetriske overfladeplasmonresonans en værdi på 0.88, som indikerer en mulighed for at designe en effektiv nanolaser i single-mode regime. Denne værdi kan optimeres for at øge effektiviteten yderligere.