EXPERIMENTELLER NACHWEIS IN DER RESONANZEMISSION VON QUANTENPUNKTEN >

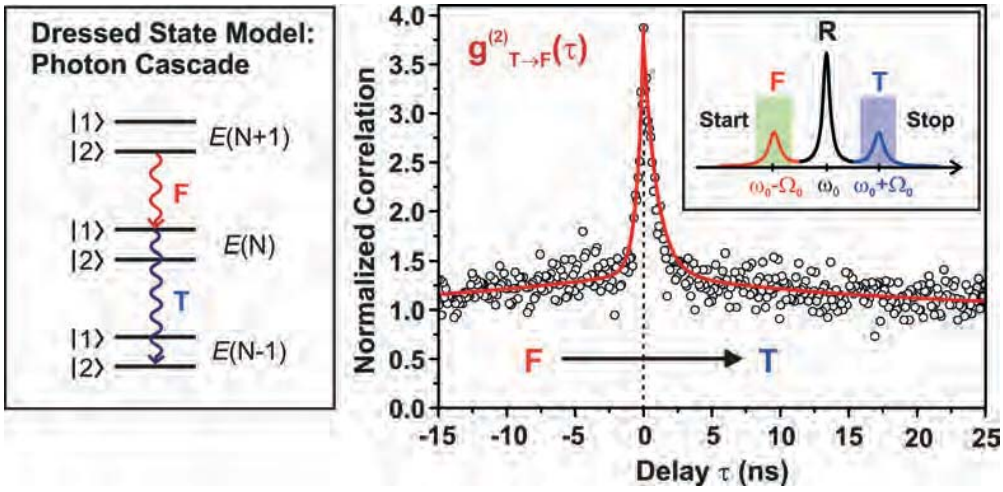
Zeitlich geordnete Photonenpaare

Die kontrollierte Erzeugung von einzelnen Lichtquanten (Photonen) ist eine zentrale Voraussetzung für die künftige Datenübertragung in superschnellen Quantencomputern oder abhörsicheren Glasfaser-Kommunikationsnetzen. Einen möglichen Ansatz hierzu bieten Halbleiter-Quantenpunkte (oft auch als „künstliche Atome" bezeichnet), die zunächst mittels Laserlicht angeregt werden, um danach die Energie in Form genau eines Lichtquants wieder abzugeben und dabei in ihren Ausgangszustand zurückzukehren. Photonen höchster Güte, in der Fachsprache von hoher Kohärenz, können speziell unter „resonanter" Anregung erreicht werden. Hierbei wird der Laser genau auf den optischen Übergang des Quantenpunktes abgestimmt. Detaillierte Studien der so entstehenden Resonanzfluoreszenz sind ein Forschungsfeld des Teams von Prof. Peter Michler am Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen (IHFG) der Uni Stuttgart, das hierzu das Halbleitersystem Indium-Gallium-Arsenid untersucht. Anfang 2012 ist es den Forschern erstmals gelungen, die Resonanzfluoreszenz von einzelnen Halbleiter-Quantenpunkten im Regime eines „Dressed States" quantenstatistisch im Detail zu studieren und dabei die Vorhersagen theoretischer Modelle zu verifizieren. *)

In der Theorie beschreibt ein „Dressed State" den gemeinsamen Eigenzustand eines Zwei-Niveau-Quantenemitters (hier: Quantenpunktes) und des ihn umgebenden, wechselwirkenden Lichtfeldes (Laser) im Fall hoher Anregungsintensitäten. Dann können der Emitter und das Lichtfeld nicht mehr als einzelne Systeme betrachtet werden, sondern nur noch über einen gekoppelten Emitter-Licht-Zustand. Optische Übergänge zwischen den Zuständen („Dressed States") einer so modifizierten Photonenquelle zeigen nicht mehr nur eine einzelne Frequenz der ausgesendeten Photonen, sondern weisen ein charakteristisch aufgespaltenes Drei-Linien-Spektrum („Mollow Triplet") auf. Dieser Fingerabdruck der Resonanzfluoreszenz kann mittels hochauflösender Spektroskopie direkt beobachtet werden.

Die Forscher des IHFG konnten nun innerhalb des „Mollow Triplets" einzelner Halbleiter-Quantenpunkte so genannte Zwei-Photonen-Kaskaden nachweisen. Durch kontrollierte leichte Verstimmung des anregenden intensiven Lasers gegenüber der Resonanz des Emitters präparierten sie einen Zustand, bei dem Photonen unterschiedlicher Energie aus den beiden Nebenbanden des „Mollow-Triplets" in geordneter zeitliche Abfolge ausgesendet werden. In einer solchen Kaskade wird zum Beispiel abwechselnd ein hochenergetisches („blaues") Photon, gefolgt von einem niederenergetischen („roten") Photon erzeugt. Die zeitliche Reihenfolge wird dabei über die Verstimmung des Lasers kontrolliert und kann mit ihrer Hilfe sogar umgekehrt werden. Für den experimentellen Nachweis dieser Photonen-Kaskade wurde die Emissionsstatistik der Lichtquanten aus den beiden Nebenbanden des „Mollow Triplets" direkt gemessen und im Detail untersucht. Die gewonnenen Ergebnisse zeigten dabei sehr gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen der Quantentheorie.

Für eine zukünftige technologische Nutzung sind solche auf Resonanz-Fluoreszenz einzelner Quantenpunkte basierende Zwei-Photonen-Emitter deshalb interessant, weil ihre Lichtemission gegenüber bisherigen Konzepten deutlich verbesserte Kohärenzeigenschaften aufweist. Zu den möglichen Anwendungsfeldern derartiger Lichtquellen zählen zum Beispiel Protokolle zur sicheren Datenübertragung in der Quantenkommunikation oder auch Algorithmen des Quanten-Computings mit rein optischer Logik der Datenverarbeitung gegenüber herkömmlichen elektronischen Schaltkreisen heutiger Computersysteme. *Sven Ulrich/amg*



Zeitlich korrelierte Photonenemission aus Resonanzfluoreszenz eines Quantenpunktes. Links: Schematische Darstellung des "Dressed State" als kombinierter Eigenzustand zwischen einem Quantenemitter und einem intensiven kohärenten treibenden Lichtfeld (Laser). Rechts: Zwei-Photonen-Korrelationsexperiment zwischen den Seitenbanden F und T des "Mollow-Triplets" (siehe Inset-Grafik). Die starke Überhöhung und Asymmetrie des Signals ist der experimentelle Fingerabdruck zeitlich geordneter (kaskadierter) Photonenemission."
(Grafik: Institut)

*) Über den Nachweis berichtete die Zeitschrift Nature Photonics im Februar 2012:
http://dx.doi.org/ unter DOI: 10.1038/NPHOTON.2012.23

KONTAKT

Dr. Sven Ulrich
Institut für Halbleiteroptik und Funktionale Grenzflächen
Tel. 0711/685-65226
e-mail: s.ulrich@ihfg.uni-stuttgart.de