

# STATUS DER ENTWICKLUNG VON HOCHLEISTUNGS-GYRO-RÖHREN UND FREI-ELEKTRONEN-MASERN STAND: ENDE 2002

## Übersicht

Gyrotronoszillatoren (Gyromonotrons) werden vorwiegend als Hochleistungsmillimeterwellenquellen für die Elektron-Zyklotron-Resonanzheizung (ECRH), Elektron-Zyklotron-Stromtrieb (ECCD), Stabilitätskontrolle und Diagnostik von magnetisch eingeschlossenen Plasmen zur Erforschung der Energiegewinnung durch kontrollierte Kernfusion eingesetzt. Die maximale Pulslänge von kommerziell erhältlichen 1 MW Gyrotrons mit Austrittsfenstern aus künstlichem Diamant ist 5 s bei 110 GHz (CPI und JAERI-TOSHIBA), 12 s bei 140 GHz (FZK-CRPP-CEA-TED) und 9 s bei 170 GHz (JAERI-TOSHIBA), mit Wirkungsgraden wenig über 30%. Durch den Einsatz von Kollektoren mit einstufiger Gegenspannung (zur Energierückgewinnung) werden Gesamtwirkungsgrade von 45-50% erreicht. Der Energieweltrekord von 160 MJ (0,89 MW mit 180 s Pulslänge bei 140 GHz) bei Leistungen höher als 0,8 MW wird von der Europäischen FZK-CRPP-TED-CEA-Zusammenarbeitsgemeinschaft gehalten, wobei die Beschränkung der Pulslänge auf 180 s durch die Hochspannungsversorgung gegeben ist ( $I_{\text{beam}} \approx 40$  A). Bei geringerem Strahlstrom ( $I_{\text{beam}} = 26$  A) wurden sogar 506 MJ (0,54 MW bei 937 s) erreicht. Der längste Schuss dauerte 1300 s bei einer Ausgangsleistung von 0,26 MW. Diese Langpulse sind durch einen Druckanstieg in der Röhre begrenzt. Eine maximale Ausgangsleistung von 1,2 MW bei 4,1 s Pulslänge wurden mit dem JAERI-TOSHIBA 110 GHz Gyrotron erzeugt. Das russische 170 GHz ITER-Gyrotron erreichte 0,5 MW bei 80 s Pulslänge, das japanische 0,3 MW bei 60 s. Gyrotrons zur Plasmadiagnostik arbeiten bei Frequenzen bis zu 650 GHz bei  $P_{\text{out}} = 40$  kW und  $\tau = 40$   $\mu$ s ( $\eta \geq 4\%$ ). Gyrotronoszillatoren finden jedoch auch in der Materialprozeßtechnik erfolgreich Verwendung. Dabei werden Röhren mit folgenden Parametern eingesetzt:  $f \geq 24$  GHz,  $P_{\text{out}} = 10$ -50 kW, CW,  $\eta \geq 30\%$ . In diesem Beitrag wird auf den aktuellen experimentellen Stand bei der Entwicklung von Hochleistungs-Gyrotronoszillatoren für Langpuls- und Dauerstrichbetrieb sowie von gepulsten Gyrotrons zur Plasmadiagnostik eingegangen. Außerdem wird auch kurz über den neuesten Stand der Entwicklung von Gyrotrons mit koaxialem Resonator, Gyrotrons für technologische Anwendungen, relativistischen Gyrotrons, quasi-optischen Gyrotrons, Zyklotron-Autoresonanz-Masern (CARMs) mit schneller oder langsamer Welle, Gyroklystrons, Gyro-TWT-Verstärkern, Gyrotwystron-Verstärkern, Gyro-Rückwärtswellenoszillatoren (BWOs), Gyro-Peniotrons, Magnicon-Verstärkern, Gyro-Harmonische-Konvertoren, Frei-Elektronen-Masern (FEM) und von Vakuumfenstern für solche Hochleistungsmillimeterwellenquellen berichtet. Die höchsten von Gyrotronoszillatoren, Gyroklystrons und FEMs erzeugten CW-Leistungen sind 340 kW (28 GHz), 10 kW (94 GHz) bzw. 36 W (15 GHz). Der IR (3.1  $\mu$  m) FEL der Thomas Jefferson National Accelerator Facility erreichte eine Rekord-Durchschnitts-Leistung von 2.13 kW bei einem Wirkungsgrad von 3.5% (mit Energierückgewinnung).