

tance $R_{dc} = R_{beam} + R_0 = 794 \Omega$ độ lệch và điện dung capacitances $C_0, C_1 = 54$ and $C_1 = 70$ pF đã được đo sử dụng một máy phân tích trở kháng ở 126 MHz. Thiết bị đầu cuối T3 và T4 đã bị dính chỉ hoạt động. Trở kháng đầu vào 1 M Ω bộ khuếch đại đệm điện áp được sử dụng để giảm thiểu các ảnh hưởng của cáp và máy phân tích phổ trên hoạt động của động cơ tation. Trong Hình 3b, gia nhiệt điện trở DC có thể dẫn đến nhiệt độ tăng nhiệt độ của chùm tia đối lập với sự làm lạnh. cơ chế tạo ra. Nó được ước tính từ nhiệt độ-sự phụ thuộc nhiệt độ của điện trở và từ mô phỏng FEM simulations rằng nhiệt độ tối đa của động cơ beam là 370 ± 20 K tại $I_{dc} = 3$ mA (xem Phụ lục) Hình C). Sự gia tăng nhiệt độ này là 17% do DC tải-sưởi điện trở tương đối nhỏ so với hệ số

5 giảm trong T_{el} do kết quả của việc giảm Q_{el} . Chúng tôi xin cảm ơn J.J.M. Ruigrok, C.S. Vaucher, K. Reimann, R. Woltjer và E.P.A.M. Bakkers vì những cuộc thảo luận và đề xuất-gestions và xin cảm ơn J. v. Wingerden đã hỗ trợ với các phép đo SEM. Các tác giả tuyên bố rằng họ không có bất kỳ xung đột lợi ích tài chính nào. Tác giả Con-tích: K.L.P., P.G.S., J.T.M.v.B. và M.J.G. đã thiết kế và chế tạo thiết bị. P.G.S., K.L.P., M.J.G. và C.v.d.A. đã thực hiện các thí nghiệm. P.G.S. đã phát triển lý thuyết, phân tích các thí nghiệm và viết bài viết. J.T.M.v.B., G.E.J.K. và G.J.A.M.V. de-phát triển công nghệ quy trình và sản xuất các vice. Correspondence và các yêu cầu về tài liệu nên được gửi đến P.G.S. (peter.steeneken@nxp.com).

1 Epstein, A. H. Cấp milimet, vi cơ điện tử

hệ thống động cơ tuabin khí. J. Kỹ thuật. Tua-bin Khí và Năng lượng 126, 205–226 (2004).

2 Jacobson, S. A. & Epstein, A. H. Khảo sát không chính thức về quyền lực MEMS. Int. Symp. Micro-Mech. Eng. (ISMME) pK18 (2003).

3 Spadaccini, C. M. & Waitz, I. A. Comprehensive Microsystems, chương 3.15 Vi đốt (Elsevier, Amsterdam, 2008).

4 Peterson, R. B. Giới hạn kích thước cho động cơ nhiệt tái sinh.

Kỹ thuật nhiệt vật lý ở cấp độ nano và micro 2, 121–131 (1998).

5 Wilfinger, R. J., Bardell, P. H. & Chhabra, D. S. The resonator: một thiết bị chọn lọc tần số sử dụng cơ-Cộng hưởng cơ học của một đế silicon. IBM J. Res. Dev. 12, 113–117 (1968).

6 Elwenspoek, M. et al. Cơ chế truyền tín hiệu và ứng dụng của chúng trong các thiết bị vi cơ học. Proc. IEEE MEMS 126–132 (1989).

7 Lammerink, T., Elwenspoek, M. & Fluitman, J. Tần số sự phụ thuộc vào kích thích nhiệt của các bộ cộng hưởng cơ vi mô onators. Sens. Act. A 25–27, 685–689 (1991).

8 Guckel, H. et al. Các bộ truyền động uốn kim loại nhiệt từ. Hội thảo Chuyên đề về Cảm biến và Cơ cấu chấp hành trạng thái rắn IEEE 5, 73–75 (1992).

9 Reichenbach, R. B., Zalalutdinov, M., Parpia, J. M. & Craighead, H. G. RF MEMS bộ tạo dao động tích hợp chuyển đổi điện trở. IEEE Electr. Dev. L. 27, 805–807 (2006).

10 Seo, J. H. & Brand, O. Cao q-hệ số cộng hưởng chế độ trong mặt phẳng-nền tảng vi cảm biến nano cho môi trường khí/lỏng. J. MEMS 17, 483–493 (2008).

11 Cohadon, P., Heidmann, A. & Pinard, M. Làm nguội một gương bằng áp suất bức xạ. Phys. Rev. Lett. 83, 3174–3177 (1999).

12 Metzger, C. H. & Karrai, K. Làm mát bằng khoang của một microlever. Thiên nhiên 432, 1002–1005 (2004).

13 Arcizet, O., Cohadon, P.-F., Briant, T., Pinard, M. & Heidmann, A. Làm mát bằng áp suất bức xạ và quang cơ tính không ổn định của một vi gương. Thiên nhiên 444, 71–74 (2006).

14 Kleckner, D. & Bouwmeester, D. Làm mát quang học dưới Kelvin của một bộ cộng hưởng cơ học vi mô. Thiên nhiên 444, 75–78 (2006).

15 Schliesser, A., Del'Haye, P., Nooshi, N., Vahala, K. J. & Kippenberg, T. J. Làm mát bằng áp suất bức xạ của một vi cơ-

dao động cơ học sử dụng tương tác ngược động lực. Phys. Rev. Lett. 97, 243905 (2006).

16 Brown, K. R. et al. Làm mát thụ động của một vi cơ học bộ tạo dao động với mạch điện cộng hưởng. Phys. Rev. Lett. 99, 137205 (2007).

17 Metzger, C., Favero, I., Ortlieb, A. & Karrai, K. Opti-tự làm mát của một vật thể biến dạng F abry- Perot khoang trong giới hạn cổ điển. Phys. Rev. B 78, 035309 (2008).

18 Teufel, J., Donner, T., Castellanos-Beltran, M. A., Harlow, J. & Lehnert, W. Chuyển động cơ học nano đo bằng một sự thiếu chính xác dưới mức giới hạn lượng tử tiêu chuẩn. Nature Nanotech. 4, 820–823 (2009).

19 Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M. Feyn-Bài giảng Vật lý của Feynman, tập I, chương 46 (Addison-Wesley, Đoc, 1963).

20 Spadaccini, C. et al. Đốt silicon mật độ công suất cao hệ thống cho động cơ tuabin khí siêu nhỏ. Proc. ASME/IGTI Turbo Expo GT-2002-30082 (2002).

21 K'oser, H. & Lang, J. Mô hình hóa mật độ công suất cao mems máy cảm ứng từ. Proc. MSM Nanotech (2001).

22 Fennimore, A. M. et al. Cơ cấu chấp hành quay dựa trên ống nano carbon. Thiên nhiên 424, 408–410 (2003).

23 Fan, D. L., Zhu, F. Q., Cammarata, R. C. & Chien, C. L. Sự quay tốc độ cao có thể kiểm soát của các dây nano. Phys. Rev. Lett. 94, 247208 (2005).

24 Ayari, A. et al. Dao động tự phát trong dây nano phát xạ trường bộ cộng hưởng cơ học: Chuyển đổi dc-ac ở cấp độ nanomet. Nano Lett. 7, 2252–2257 (2007).

25 Weldon, J. A., Alem'an, B., Sussman, A., Gannett, W. & Zettl, A. K. Dao động tự duy trì cơ học trong ống nano carbon. Nano Lett. 10, 1728–1733 (2010).

26 Ebefors, T. & Stemme, G. The MEMS Handbook: MEMS Ứng dụng, chương. Microrobotics (Nhà xuất bản CRC, Boca Ra- ton, 2006).

27 Burg, T. P. et al. Cân đo các phân tử sinh học, tế bào đơn lẻ và các hạt nano đơn lẻ trong chất lỏng. Thiên nhiên 446, 1066 (2007).

28 Bullis, W. M., Brewer, F. H., Kolstad, C. D. & Swartzen-druber, L. J. Hệ số nhiệt điện trở của sil- icon và germanium gần nhiệt độ phòng. Thể rắn Điện tử 11, 639–646 (1968).