

CRAQUEADOR PARA UM SISTEMA DE CRESCIMENTO EPITAXIAL POR DEPOSIÇÃO QUÍMICA EM VÁCUO

ALEXANDRE CAMILO JR., MAURO M.G. DE CARVALHO E MÔNICA A. COTTA

Laboratório de Pesquisas em Dispositivos - DFA
Instituto de Física Gleb Wataghin
Universidade Estadual de Campinas
Caixa Posta 6165
13081 - CAMPINAS - SP - BRASIL

RESUMO:

Afim de se obter um craqueamento eficiente da fosfina (PH_3) num sistema de crescimento epitaxial por deposição química em vácuo, foi construído um craqueador simples em tântalo. A eficiência do craqueamento foi estimada através da razão entre os picos do dímero do fósforo (P_2) e PH_3 medidos por um espectrômetro de massa (quadropolo magnético). Constatou-se um aumento de mais de 200 vezes nesta razão comparativamente ao sistema sem craqueador e pelo menos 20 vezes comparativamente ao sistema com uma serpentina que havia sido usada anteriormente para tornar mais eficiente o craqueamento.

1. INTRODUÇÃO

A técnica de epitaxia química em vácuo (VCE-Vacuum Chemical Epitaxy)[1] tenta aliar algumas vantagens das técnicas MOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition) e MBE (Molecular Beam Epitaxy). Basicamente, é constituído de uma câmara de crescimento ou reação, dentro de uma câmara de vácuo, continuamente bombeada por um conjunto constituído de uma bomba turbo-molecular e uma bomba rotativa (fig.1).

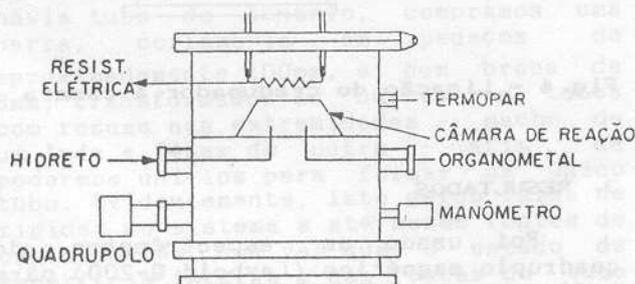


Fig.1 - Desenho esquemático da câmara de vácuo do sistema VCE.

Fluxos controlados de gases e/ou vapores são enviados à câmara de reação aquecida, onde, sobre um substrato cristalino, ocorrem as reações que geram camadas epitaxiais.

No caso de epitaxias de GaAs e InP , normalmente é utilizado um hidreto, AsH_3 ou PH_3 , e um organometálico, trietil-gálio ou trimetil-índio.

Os organometálicos dissociam-se facilmente acima de 300°C [2-3] com o simples aquecimento do substrato e, conseqüentemente o aquecimento da câmara de reação, é suficiente para que a presença do elemento do grupo III sobre o substrato seja assegurado. Entretanto, o mesmo não é verdade para os hidretos. No caso da arsina (AsH_3), isto não chega a ser dramático porque é possível obter-se epitaxias de GaAs com a razão entre os fluxos de AsH_3 e trietilgálio da ordem de 5 a 20. Como o fluxo de trietil-gálio para taxas de crescimento epitaxial entre 1 e $2\mu\text{m/h}$ é da ordem de 1 sccm (1 standard cubic centimeter per minute), o fluxo de arsina utilizado é pequeno, i.é, a pressão na câmara se mantém a níveis compatíveis com o princípio de funcionamento do sistema [1] (da ordem de 10^{-3} Torr). No caso da fosfina o problema é mais grave. Como a energia de dissociação da fosfina é maior que a da arsina [4], a razão entre os fluxos da fosfina (PH_3) e do trimetil-índio é, no mínimo, da ordem de 40 para se obter epitaxia de InP . Isto representa grandes fluxos de fosfina que inviabilizam o crescimento por duas razões. A primeira e mais importante, é que altos fluxos de PH_3 criam depósitos de fósforo na bomba de vácuo rotativa, o que causa o seu travamento após dois ou três crescimentos, apesar dos vários artifícios que podem utilizados para evitar que isto ocorra (*molecular sieve*, armadilha de N_2 líquido e filtragem do óleo). Como para recolocar a bomba de vácuo em funcionamento é necessário desmontá-la e limpar peça por peça, o trabalho de epitaxia fica inviabilizado em termos práticos. A segunda razão é que, como já demonstrado, além de diminuir a taxa de crescimento [5], grandes pressões na câmara de reação criam heterogeneidades na espessura da camada crescida [6], tornando difícil a utilização prática (para dispositivos) destas camadas.

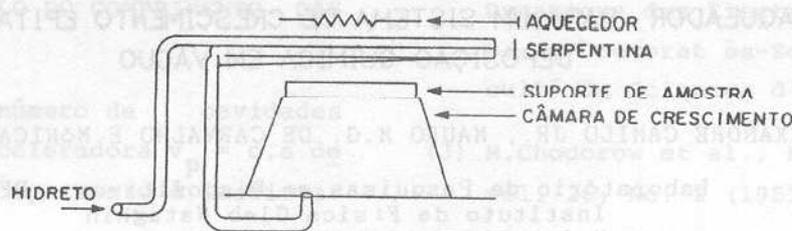


Fig. 2 - Serpentina para aumentar a eficiência de craqueamento da fosfina [5]

A necessidade de crescer InP nos obrigou a procurar uma solução para este problema. A primeira delas [5] foi introduzir a fosfina através de uma serpentina próximo à resistência de aquecimento da câmara de reação conforme mostra a fig.2.

Esta solução tem o inconveniente de não se poder alterar a temperatura de crescimento sem alterar a razão entre as pressões parciais de P_2 e PH_3 (a P_2 é a molécula efetivamente utilizada no crescimento de InP), uma vez que a temperatura da serpentina está ligada à temperatura do substrato.

O fato do craqueamento da PH_3 estar intimamente relacionado à temperatura de crescimento da camada epitaxial também se apresenta no sistema sem craqueador. Isto, por si só, já justificaria o investimento em fabricar-se um craqueador.

2. DETALHES EXPERIMENTAIS

O craqueador é constituído de um tubo de tântalo de 1/4" de diâmetro, centrado dentro de um tubo de Al_2O_3 ($\phi 1/2"$) na qual é enrolada, externamente, uma resistência elétrica de tungstênio-Rênio (W 75% + Re 25%). O tântalo foi escolhido pelas seguintes razões:

- 1) É comercializado em níveis de pureza adequado (99,9%);
- 2) É facilmente trabalhado em máquinas (torno, freza, etc);
- 3) É extremamente resistente a ataques químicos;
- 4) Tem baixíssima pressão de vapor (menor que 10^{-4} Torr a $1600^\circ C$), não sendo, portanto, contaminante.

O conjunto tubo de tântalo e resistência elétrica é centrado, através de um tubo de quartzo, num tubo de inox ($\phi \approx 45mm$), terminado em flange conflat. Através deste tubo é alimentada a resistência elétrica e medida a temperatura, conforme indicado na figura

3. A figura 4 mostra, esquematicamente, como o craqueador é ligado ao sistema. A bem da clareza, foi omitida uma serpentina de cobre soldada à parede externa do craqueador. A serpentina tem a função de evitar o aquecimento desta parede.

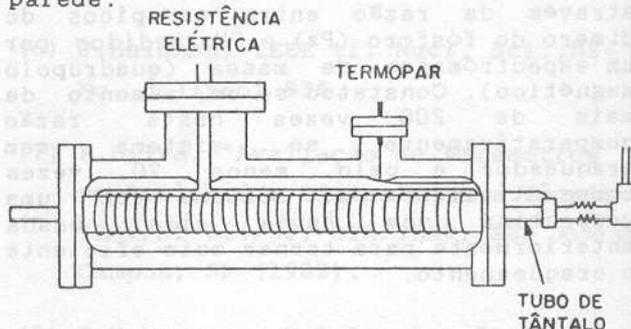


Fig. 3 - Desenho esquemático do craqueador

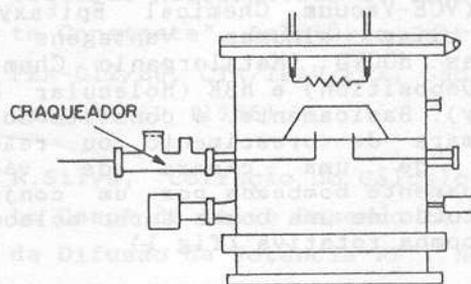


Fig. 4 - Ligação do craqueador à câmara

3. RESULTADOS

Foi usado um espectrômetro de quadruplo magnético (Leybold Q-200) para medir a razão entre as intensidades dos picos de P_2 e PH_3 . A temperatura do craqueador foi variada entre $23^\circ C$ e $425^\circ C$ e o fluxo de PH_3 utilizado foi de 1 sccm para a pressão da câmara ficar abaixo do máximo suportado pelo espectrômetro ($\approx 10^{-4}$ Torr). A figura 5 mostra o gráfico da razão entre as pressões parciais de P_2 e PH_3 em função

da temperatura para três casos. Nos dois primeiros - a câmara sem o craqueador e a câmara com a serpentina - a temperatura representa também a temperatura de crescimento. No terceiro caso - o sistema com craqueador - a temperatura representa somente a temperatura de craqueamento, que é independente da temperatura de crescimento.

A eficiência de craqueamento também foi testada em crescimento epitaxiais. Foram obtidas camadas de InP com fluxos de fosfina de 3 sccm, portanto 10 vezes menores do que havíamos obtido com a serpentina [5].

4. DISCUSSÃO

A falta de material mais adequado para a fabricação do craqueador, resultou em alguns problemas que, a grosso modo, já podíamos esperar. O tubo de alumina que dispúnhamos era de 12.7mm de diâmetro externo e 10mm de diâmetro interno. Como o fio de aquecimento tinha 1mm de diâmetro não pudemos enrolá-lo internamente ao tubo de alumina devido à grande proximidade que ficaria do tubo de tântalo ($\phi \approx 6,6\text{mm}$), com perigo de curto circuito. Enrolando o fio de aquecimento externamente ao tubo de alumina, reduzimos enormemente a eficiência de aquecimento. Isto nos limitou na temperatura de craqueamento uma vez que apesar da refrigeração com a serpentina de cobre, a parede externa do craqueador era demasiadamente aquecida (entre as espiras da serpentina) quando a temperatura de craqueamento ultrapassava 400°C . Outro ponto que merece ser mencionado é a qualidade do tântalo usado. Este material foi comprado no Brasil e era de uso metalúrgico, sem a pureza requerida para um craqueador. Além disso, como não havia tubo de tântalo, compramos uma barra, cortamo-la em pedaços de aproximadamente 100mm, e; com broca de 3mm, transformamos as barras em tubos com roscas nas extremidades - macho de um lado e fêmea do outro - afim de podermos uni-los para formar um único tubo. Evidentemente, isto gerou falta de rigidez no sistema e até mesmo fontes de contaminação, uma vez que o estado de superfície interna e nas roscas do tubo não ficou muito bom. Superfícies ruins dificultam enormemente a limpeza do material.

Comparando o sistema com craqueador e com a serpentina do ponto de vista estrito do crescimento, o craqueador apresentou a grande vantagem de termos reduzido o fluxo da fosfina em até 10

vezes e ainda assim obtermos InP. Com fluxos tão pequenos foi possível realizar mais de 60 crescimentos sem problemas na bomba de vácuo rotativa. Além disso, com a possibilidade de variar a temperatura de crescimento sem variar a pressão parcial de P_2 , pudemos crescer camadas epitaxiais de InP a 550°C , 50°C a menos do que com a serpentina.

Do ponto de vista da qualidade elétrica, os crescimentos com a serpentina não apresentaram melhores resultados. O nível de contaminação introduzido pelo craqueador foi muito grande. As camadas obtidas eram do tipo N com concentração residual da ordem de 10^{18}cm^{-3} e mobilidade entre 500 e 600 $\text{cm}^2/\text{v.s}$, o que significa alto grau de contaminação. Isto foi atribuído à contaminação proveniente do Ta, da alumina, etc.

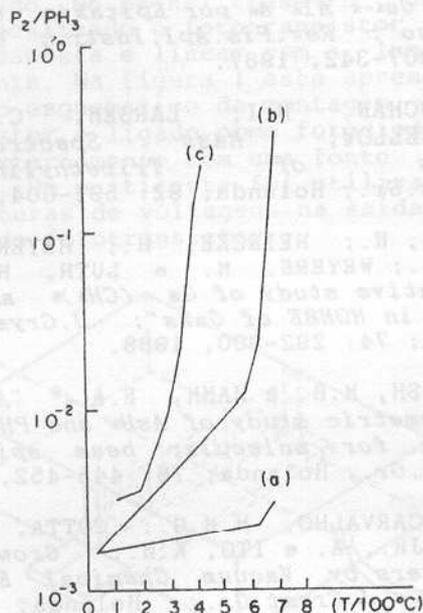


Fig. 5 - Razão $[P_2]/[PH_3]$ em função da temperatura para:

- a) Sistema sem craqueador
- b) Sistema com serpentina
- c) Craqueador

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho era construir um craqueador simples que permitisse o crescimento de InP pela técnica de epitaxia química em vácuo. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios no que concerne ao crescimento em si. Foi obtida uma redução de até 10 vezes na quantidade de fosfina necessária à obtenção de InP. Isto torna o sistema operacional e

facilita a neutralização dos sub-produtos tóxicos que o sistema expele. O lado negativo dos resultados, i.é., a má qualidade elétrica das camadas, foi atribuído a qualidade do material utilizado na fabricação do craqueador. Portanto, os resultados deste trabalho indicam que o investimento num sistema de craqueamento para hidretos pode ser altamente compensatório.

AGRADECIMENTOS:

A K.M.Ito-Landers pelo acompanhamento técnico dos crescimentos, a M.Z.Jarusavicius pela datilografia e a Telebrás e CNPq pelo suporte financeiro.

6. BIBLIOGRAFIA:

1. BARRETO, C.L; de CARVALHO, M.M.G; ITO, K.M. e FRAAS, L.M; "Crescimento de GaAs e Ga_{1-x}Al_xAs por Epitaxia Química em Vácuo"; *Rev.Fis.Apl.Instr.*; Brasil; 2(4): 307-342, 1987.
2. BUCHAN, N.I; LARSEM, C.A. e STRINGFELLOW; "Mass Spectrometric Studies of Trimethylindium"; *J.Cryst.Gr.*; Holanda; 92: 591-604, 1988.
3. PUTZ, N.; HEINCKE, H.; HEYEN, M.; BALK, P.; WEYERS, M. e LUTH, H.; "A comparative study of Ga (CH₃)₃ and Ga (C₂H₅)₃ in MOMBE of GaAs"; *J.Cryst.Gr.*; Holanda; 74: 292-300, 1986.
4. PANISH, M.B. e HAMM, R.A.; "A mass spectrometric study of AsH₃ and PH₃ gas sources for molecular beam epitaxy"; *J.Cryst.Gr.*; Holanda; 78: 445-452, 1986.
5. de CARVALHO, M.M.G.; COTTA, M.A.; CAMILO JR., A. e ITO, K.M.; "Growth of InP layers by Vacuum Chemical Epitaxy (VCE)"; *J.Cryst.Gr.*; Holanda; 98: 759-764, 1989.
6. FRAAS, L.M.; MALOCSAY, E.; SUNDARAM, V.; BAIRD, R.W.; MAO, B.Y. e LEE, G.Y.; "High throughput Vacuum Chemical Epitaxy"; *J.Cryst.Gr.*; Holanda; 105: 35-45, 1990.

de temperatura para três casos. Nos dois primeiros - a camada sem craqueador e a camada com craqueador - a temperatura representada na curva de crescimento de material, no início de cada ciclo, com o sistema com craqueador a temperatura representa a temperatura de crescimento de crescimento de crescimento. A eficiência de craqueamento também foi testada em crescimento epitaxial de camadas de InP com Linhas de crescimento de 2 e 4 e 6 e 8 e 10 e 12 e 14 e 16 e 18 e 20 e 22 e 24 e 26 e 28 e 30 e 32 e 34 e 36 e 38 e 40 e 42 e 44 e 46 e 48 e 50 e 52 e 54 e 56 e 58 e 60 e 62 e 64 e 66 e 68 e 70 e 72 e 74 e 76 e 78 e 80 e 82 e 84 e 86 e 88 e 90 e 92 e 94 e 96 e 98 e 100 e 102 e 104 e 106 e 108 e 110 e 112 e 114 e 116 e 118 e 120 e 122 e 124 e 126 e 128 e 130 e 132 e 134 e 136 e 138 e 140 e 142 e 144 e 146 e 148 e 150 e 152 e 154 e 156 e 158 e 160 e 162 e 164 e 166 e 168 e 170 e 172 e 174 e 176 e 178 e 180 e 182 e 184 e 186 e 188 e 190 e 192 e 194 e 196 e 198 e 200 e 202 e 204 e 206 e 208 e 210 e 212 e 214 e 216 e 218 e 220 e 222 e 224 e 226 e 228 e 230 e 232 e 234 e 236 e 238 e 240 e 242 e 244 e 246 e 248 e 250 e 252 e 254 e 256 e 258 e 260 e 262 e 264 e 266 e 268 e 270 e 272 e 274 e 276 e 278 e 280 e 282 e 284 e 286 e 288 e 290 e 292 e 294 e 296 e 298 e 300 e 302 e 304 e 306 e 308 e 310 e 312 e 314 e 316 e 318 e 320 e 322 e 324 e 326 e 328 e 330 e 332 e 334 e 336 e 338 e 340 e 342 e 344 e 346 e 348 e 350 e 352 e 354 e 356 e 358 e 360 e 362 e 364 e 366 e 368 e 370 e 372 e 374 e 376 e 378 e 380 e 382 e 384 e 386 e 388 e 390 e 392 e 394 e 396 e 398 e 400 e 402 e 404 e 406 e 408 e 410 e 412 e 414 e 416 e 418 e 420 e 422 e 424 e 426 e 428 e 430 e 432 e 434 e 436 e 438 e 440 e 442 e 444 e 446 e 448 e 450 e 452 e 454 e 456 e 458 e 460 e 462 e 464 e 466 e 468 e 470 e 472 e 474 e 476 e 478 e 480 e 482 e 484 e 486 e 488 e 490 e 492 e 494 e 496 e 498 e 500 e 502 e 504 e 506 e 508 e 510 e 512 e 514 e 516 e 518 e 520 e 522 e 524 e 526 e 528 e 530 e 532 e 534 e 536 e 538 e 540 e 542 e 544 e 546 e 548 e 550 e 552 e 554 e 556 e 558 e 560 e 562 e 564 e 566 e 568 e 570 e 572 e 574 e 576 e 578 e 580 e 582 e 584 e 586 e 588 e 590 e 592 e 594 e 596 e 598 e 600 e 602 e 604 e 606 e 608 e 610 e 612 e 614 e 616 e 618 e 620 e 622 e 624 e 626 e 628 e 630 e 632 e 634 e 636 e 638 e 640 e 642 e 644 e 646 e 648 e 650 e 652 e 654 e 656 e 658 e 660 e 662 e 664 e 666 e 668 e 670 e 672 e 674 e 676 e 678 e 680 e 682 e 684 e 686 e 688 e 690 e 692 e 694 e 696 e 698 e 700 e 702 e 704 e 706 e 708 e 710 e 712 e 714 e 716 e 718 e 720 e 722 e 724 e 726 e 728 e 730 e 732 e 734 e 736 e 738 e 740 e 742 e 744 e 746 e 748 e 750 e 752 e 754 e 756 e 758 e 760 e 762 e 764 e 766 e 768 e 770 e 772 e 774 e 776 e 778 e 780 e 782 e 784 e 786 e 788 e 790 e 792 e 794 e 796 e 798 e 800 e 802 e 804 e 806 e 808 e 810 e 812 e 814 e 816 e 818 e 820 e 822 e 824 e 826 e 828 e 830 e 832 e 834 e 836 e 838 e 840 e 842 e 844 e 846 e 848 e 850 e 852 e 854 e 856 e 858 e 860 e 862 e 864 e 866 e 868 e 870 e 872 e 874 e 876 e 878 e 880 e 882 e 884 e 886 e 888 e 890 e 892 e 894 e 896 e 898 e 900 e 902 e 904 e 906 e 908 e 910 e 912 e 914 e 916 e 918 e 920 e 922 e 924 e 926 e 928 e 930 e 932 e 934 e 936 e 938 e 940 e 942 e 944 e 946 e 948 e 950 e 952 e 954 e 956 e 958 e 960 e 962 e 964 e 966 e 968 e 970 e 972 e 974 e 976 e 978 e 980 e 982 e 984 e 986 e 988 e 990 e 992 e 994 e 996 e 998 e 1000 e 1002 e 1004 e 1006 e 1008 e 1010 e 1012 e 1014 e 1016 e 1018 e 1020 e 1022 e 1024 e 1026 e 1028 e 1030 e 1032 e 1034 e 1036 e 1038 e 1040 e 1042 e 1044 e 1046 e 1048 e 1050 e 1052 e 1054 e 1056 e 1058 e 1060 e 1062 e 1064 e 1066 e 1068 e 1070 e 1072 e 1074 e 1076 e 1078 e 1080 e 1082 e 1084 e 1086 e 1088 e 1090 e 1092 e 1094 e 1096 e 1098 e 1100 e 1102 e 1104 e 1106 e 1108 e 1110 e 1112 e 1114 e 1116 e 1118 e 1120 e 1122 e 1124 e 1126 e 1128 e 1130 e 1132 e 1134 e 1136 e 1138 e 1140 e 1142 e 1144 e 1146 e 1148 e 1150 e 1152 e 1154 e 1156 e 1158 e 1160 e 1162 e 1164 e 1166 e 1168 e 1170 e 1172 e 1174 e 1176 e 1178 e 1180 e 1182 e 1184 e 1186 e 1188 e 1190 e 1192 e 1194 e 1196 e 1198 e 1200 e 1202 e 1204 e 1206 e 1208 e 1210 e 1212 e 1214 e 1216 e 1218 e 1220 e 1222 e 1224 e 1226 e 1228 e 1230 e 1232 e 1234 e 1236 e 1238 e 1240 e 1242 e 1244 e 1246 e 1248 e 1250 e 1252 e 1254 e 1256 e 1258 e 1260 e 1262 e 1264 e 1266 e 1268 e 1270 e 1272 e 1274 e 1276 e 1278 e 1280 e 1282 e 1284 e 1286 e 1288 e 1290 e 1292 e 1294 e 1296 e 1298 e 1300 e 1302 e 1304 e 1306 e 1308 e 1310 e 1312 e 1314 e 1316 e 1318 e 1320 e 1322 e 1324 e 1326 e 1328 e 1330 e 1332 e 1334 e 1336 e 1338 e 1340 e 1342 e 1344 e 1346 e 1348 e 1350 e 1352 e 1354 e 1356 e 1358 e 1360 e 1362 e 1364 e 1366 e 1368 e 1370 e 1372 e 1374 e 1376 e 1378 e 1380 e 1382 e 1384 e 1386 e 1388 e 1390 e 1392 e 1394 e 1396 e 1398 e 1400 e 1402 e 1404 e 1406 e 1408 e 1410 e 1412 e 1414 e 1416 e 1418 e 1420 e 1422 e 1424 e 1426 e 1428 e 1430 e 1432 e 1434 e 1436 e 1438 e 1440 e 1442 e 1444 e 1446 e 1448 e 1450 e 1452 e 1454 e 1456 e 1458 e 1460 e 1462 e 1464 e 1466 e 1468 e 1470 e 1472 e 1474 e 1476 e 1478 e 1480 e 1482 e 1484 e 1486 e 1488 e 1490 e 1492 e 1494 e 1496 e 1498 e 1500 e 1502 e 1504 e 1506 e 1508 e 1510 e 1512 e 1514 e 1516 e 1518 e 1520 e 1522 e 1524 e 1526 e 1528 e 1530 e 1532 e 1534 e 1536 e 1538 e 1540 e 1542 e 1544 e 1546 e 1548 e 1550 e 1552 e 1554 e 1556 e 1558 e 1560 e 1562 e 1564 e 1566 e 1568 e 1570 e 1572 e 1574 e 1576 e 1578 e 1580 e 1582 e 1584 e 1586 e 1588 e 1590 e 1592 e 1594 e 1596 e 1598 e 1600 e 1602 e 1604 e 1606 e 1608 e 1610 e 1612 e 1614 e 1616 e 1618 e 1620 e 1622 e 1624 e 1626 e 1628 e 1630 e 1632 e 1634 e 1636 e 1638 e 1640 e 1642 e 1644 e 1646 e 1648 e 1650 e 1652 e 1654 e 1656 e 1658 e 1660 e 1662 e 1664 e 1666 e 1668 e 1670 e 1672 e 1674 e 1676 e 1678 e 1680 e 1682 e 1684 e 1686 e 1688 e 1690 e 1692 e 1694 e 1696 e 1698 e 1700 e 1702 e 1704 e 1706 e 1708 e 1710 e 1712 e 1714 e 1716 e 1718 e 1720 e 1722 e 1724 e 1726 e 1728 e 1730 e 1732 e 1734 e 1736 e 1738 e 1740 e 1742 e 1744 e 1746 e 1748 e 1750 e 1752 e 1754 e 1756 e 1758 e 1760 e 1762 e 1764 e 1766 e 1768 e 1770 e 1772 e 1774 e 1776 e 1778 e 1780 e 1782 e 1784 e 1786 e 1788 e 1790 e 1792 e 1794 e 1796 e 1798 e 1800 e 1802 e 1804 e 1806 e 1808 e 1810 e 1812 e 1814 e 1816 e 1818 e 1820 e 1822 e 1824 e 1826 e 1828 e 1830 e 1832 e 1834 e 1836 e 1838 e 1840 e 1842 e 1844 e 1846 e 1848 e 1850 e 1852 e 1854 e 1856 e 1858 e 1860 e 1862 e 1864 e 1866 e 1868 e 1870 e 1872 e 1874 e 1876 e 1878 e 1880 e 1882 e 1884 e 1886 e 1888 e 1890 e 1892 e 1894 e 1896 e 1898 e 1900 e 1902 e 1904 e 1906 e 1908 e 1910 e 1912 e 1914 e 1916 e 1918 e 1920 e 1922 e 1924 e 1926 e 1928 e 1930 e 1932 e 1934 e 1936 e 1938 e 1940 e 1942 e 1944 e 1946 e 1948 e 1950 e 1952 e 1954 e 1956 e 1958 e 1960 e 1962 e 1964 e 1966 e 1968 e 1970 e 1972 e 1974 e 1976 e 1978 e 1980 e 1982 e 1984 e 1986 e 1988 e 1990 e 1992 e 1994 e 1996 e 1998 e 2000 e 2002 e 2004 e 2006 e 2008 e 2010 e 2012 e 2014 e 2016 e 2018 e 2020 e 2022 e 2024 e 2026 e 2028 e 2030 e 2032 e 2034 e 2036 e 2038 e 2040 e 2042 e 2044 e 2046 e 2048 e 2050 e 2052 e 2054 e 2056 e 2058 e 2060 e 2062 e 2064 e 2066 e 2068 e 2070 e 2072 e 2074 e 2076 e 2078 e 2080 e 2082 e 2084 e 2086 e 2088 e 2090 e 2092 e 2094 e 2096 e 2098 e 2100 e 2102 e 2104 e 2106 e 2108 e 2110 e 2112 e 2114 e 2116 e 2118 e 2120 e 2122 e 2124 e 2126 e 2128 e 2130 e 2132 e 2134 e 2136 e 2138 e 2140 e 2142 e 2144 e 2146 e 2148 e 2150 e 2152 e 2154 e 2156 e 2158 e 2160 e 2162 e 2164 e 2166 e 2168 e 2170 e 2172 e 2174 e 2176 e 2178 e 2180 e 2182 e 2184 e 2186 e 2188 e 2190 e 2192 e 2194 e 2196 e 2198 e 2200 e 2202 e 2204 e 2206 e 2208 e 2210 e 2212 e 2214 e 2216 e 2218 e 2220 e 2222 e 2224 e 2226 e 2228 e 2230 e 2232 e 2234 e 2236 e 2238 e 2240 e 2242 e 2244 e 2246 e 2248 e 2250 e 2252 e 2254 e 2256 e 2258 e 2260 e 2262 e 2264 e 2266 e 2268 e 2270 e 2272 e 2274 e 2276 e 2278 e 2280 e 2282 e 2284 e 2286 e 2288 e 2290 e 2292 e 2294 e 2296 e 2298 e 2300 e 2302 e 2304 e 2306 e 2308 e 2310 e 2312 e 2314 e 2316 e 2318 e 2320 e 2322 e 2324 e 2326 e 2328 e 2330 e 2332 e 2334 e 2336 e 2338 e 2340 e 2342 e 2344 e 2346 e 2348 e 2350 e 2352 e 2354 e 2356 e 2358 e 2360 e 2362 e 2364 e 2366 e 2368 e 2370 e 2372 e 2374 e 2376 e 2378 e 2380 e 2382 e 2384 e 2386 e 2388 e 2390 e 2392 e 2394 e 2396 e 2398 e 2400 e 2402 e 2404 e 2406 e 2408 e 2410 e 2412 e 2414 e 2416 e 2418 e 2420 e 2422 e 2424 e 2426 e 2428 e 2430 e 2432 e 2434 e 2436 e 2438 e 2440 e 2442 e 2444 e 2446 e 2448 e 2450 e 2452 e 2454 e 2456 e 2458 e 2460 e 2462 e 2464 e 2466 e 2468 e 2470 e 2472 e 2474 e 2476 e 2478 e 2480 e 2482 e 2484 e 2486 e 2488 e 2490 e 2492 e 2494 e 2496 e 2498 e 2500 e 2502 e 2504 e 2506 e 2508 e 2510 e 2512 e 2514 e 2516 e 2518 e 2520 e 2522 e 2524 e 2526 e 2528 e 2530 e 2532 e 2534 e 2536 e 2538 e 2540 e 2542 e 2544 e 2546 e 2548 e 2550 e 2552 e 2554 e 2556 e 2558 e 2560 e 2562 e 2564 e 2566 e 2568 e 2570 e 2572 e 2574 e 2576 e 2578 e 2580 e 2582 e 2584 e 2586 e 2588 e 2590 e 2592 e 2594 e 2596 e 2598 e 2600 e 2602 e 2604 e 2606 e 2608 e 2610 e 2612 e 2614 e 2616 e 2618 e 2620 e 2622 e 2624 e 2626 e 2628 e 2630 e 2632 e 2634 e 2636 e 2638 e 2640 e 2642 e 2644 e 2646 e 2648 e 2650 e 2652 e 2654 e 2656 e 2658 e 2660 e 2662 e 2664 e 2666 e 2668 e 2670 e 2672 e 2674 e 2676 e 2678 e 2680 e 2682 e 2684 e 2686 e 2688 e 2690 e 2692 e 2694 e 2696 e 2698 e 2700 e 2702 e 2704 e 2706 e 2708 e 2710 e 2712 e 2714 e 2716 e 2718 e 2720 e 2722 e 2724 e 2726 e 2728 e 2730 e 2732 e 2734 e 2736 e 2738 e 2740 e 2742 e 2744 e 2746 e 2748 e 2750 e 2752 e 2754 e 2756 e 2758 e 2760 e 2762 e 2764 e 2766 e 2768 e 2770 e 2772 e 2774 e 2776 e 2778 e 2780 e 2782 e 2784 e 2786 e 2788 e 2790 e 2792 e 2794 e 2796 e 2798 e 2800 e 2802 e 2804 e 2806 e 2808 e 2810 e 2812 e 2814 e 2816 e 2818 e 2820 e 2822 e 2824 e 2826 e 2828 e 2830 e 2832 e 2834 e 2836 e 2838 e 2840 e 2842 e 2844 e 2846 e 2848 e 2850 e 2852 e 2854 e 2856 e 2858 e 2860 e 2862 e 2864 e 2866 e 2868 e 2870 e 2872 e 2874 e 2876 e 2878 e 2880 e 2882 e 2884 e 2886 e 2888 e 2890 e 2892 e 2894 e 2896 e 2898 e 2900 e 2902 e 2904 e 2906 e 2908 e 2910 e 2912 e 2914 e 2916 e 2918 e 2920 e 2922 e 2924 e 2926 e 2928 e 2930 e 2932 e 2934 e 2936 e 2938 e 2940 e 2942 e 2944 e 2946 e 2948 e 2950 e 2952 e 2954 e 2956 e 2958 e 2960 e 2962 e 2964 e 2966 e 2968 e 2970 e 2972 e 2974 e 2976 e 2978 e 2980 e 2982 e 2984 e 2986 e 2988 e 2990 e 2992 e 2994 e 2996 e 2998 e 3000 e 3002 e 3004 e 3006 e 3008 e 3010 e 3012 e 3014 e 3016 e 3018 e 3020 e 3022 e 3024 e 3026 e 3028 e 3030 e 3032 e 3034 e 3036 e 3038 e 3040 e 3042 e 3044 e 3046 e 3048 e 3050 e 3052 e 3054 e 3056 e 3058 e 3060 e 3062 e 3064 e 3066 e 3068 e 3070 e 3072 e 3074 e 3076 e 3078 e 3080 e 3082 e 3084 e 3086 e 3088 e 3090 e 3092 e 3094 e 3096 e 3098 e 3100 e 3102 e 3104 e 3106 e 3108 e 3110 e 3112 e 3114 e 3116 e 3118 e 3120 e 3122 e 3124 e 3126 e 3128 e 3130 e 3132 e 3134 e 3136 e 3138 e 3140 e 3142 e 3144 e 3146 e 3148 e 3150 e 3152 e 3154 e 3156 e 3158 e 3160 e 3162 e 3164 e 3166 e 3168 e 3170 e 3172 e 3174 e 3176 e 3178 e 3180 e 3182 e 3184 e 3186 e 3188 e 3190 e 3192 e 3194 e 3196 e 3198 e 3200 e 3202 e 3204 e 3206 e 3208 e 3210 e 3212 e 3214 e 3216 e 3218 e 3220 e 3222 e 3224 e 3226 e 3228 e 3230 e 3232 e 3234 e 3236 e 3238 e 3240 e 3242 e 3244 e 3246 e 3248 e 3250 e 3252 e 3254 e 3256 e 3258 e 3260 e 3262 e 3264 e 3266 e 3268 e 3270 e 3272 e 3274 e 3276 e 3278 e 3280 e 3282 e 3284 e 3286 e 3288 e 3290 e 3292 e 3294 e 3296 e 3298 e 3300 e 3302 e 3304 e 3306 e 3308 e 3310 e 3312 e 3314 e 3316 e 3318 e 3320 e 3322 e 3324 e 3326 e 3328 e 3330 e 3332 e 3334 e 3336 e 3338 e 3340 e 3342 e 3344 e 3346 e 3348 e 3350 e 3352 e 3354 e 3356 e 3358 e 3360 e 3362 e 3364 e 3366 e 3368 e 3370 e 3372 e 3374 e 3376 e 3378 e 3380 e 3382 e 3384 e 3386 e 3388 e 3390 e 3392 e 3394 e 3396 e 3398 e 3400 e 3402 e 3404 e 3406 e 3408 e 3410 e 3412 e 3414 e 3416 e 3418 e 3420 e 3422 e 3424 e 3426 e 3428 e 3430 e 3432 e 3434 e 3436 e 3438 e 3440 e 3442 e 3444 e 3446 e 3448 e 3450 e 3452 e 3454 e 3456 e 3458 e 3460 e 3462 e 3464 e 3466 e 3468 e 3470 e 3472 e 3474 e 3476 e 3478 e 3480 e 3482 e 3484 e 3486 e 3488 e 3490 e 3492 e 3494 e 3496 e 3498 e 3500 e 3502 e 3504 e 3506 e 3508 e 3510 e 3512 e 3514 e 3516 e 3518 e 3520 e 3522 e 3524 e 3526 e 3528 e 3530 e 3532 e 3534 e 3536 e 3538 e 3540 e 3542 e 3544 e 3546 e 3548 e 3550 e 3552 e 3554 e 3556 e 3558 e 3560 e 3562 e 3564 e 3566 e 3568 e 3570 e 3572 e 3574 e 3576 e 3578 e 3580 e 3582 e 3584 e 3586 e 3588 e 3590 e 3592 e 3594 e 3596 e 3598 e 3600 e 3602 e 3604 e 3606 e 3608 e 3610 e 3612 e 3614 e 3616 e 3618 e 3620 e 3622 e 3624 e 3626 e 3628 e 3630 e 3632 e 3634 e 3636 e 3638 e 3640 e 3642 e 3644 e 3646 e 3648 e 3650 e 3652 e 3654 e 3656 e 3658 e 3660 e 3662 e 3664 e 3666 e 3668 e 3670 e 3672 e 3674 e 3676 e 3678 e 3680 e 3682 e 3684 e 3686 e 3688 e 3690 e 3692 e 3694 e 3696 e 3698 e 3700 e 3702 e 3704 e 3706 e 3708 e 3710 e 3712 e 3714 e 3716 e 3718 e 3720 e 3722 e 3724 e 3726 e 3728 e 3730 e 3732 e 3734 e 3736 e 3738 e 3740 e 3742 e 3744 e 3746 e 3748 e 3750 e 3752 e 3754 e 3756 e 3758 e 3760 e 3762 e 3764 e 3766 e 3768 e 3770 e 3772 e 3774 e 3776 e 3778 e 3780 e 3782 e 3784 e 3786 e 3788 e 3790 e 3792 e 3794 e 3796 e 3798 e 3800 e 3802 e 3804 e 3806 e 3808 e 3810 e 3812 e 3814 e 3816 e 3818 e 3820 e 3822 e 3824 e 3826 e 3828 e 3830 e 3832 e 3834 e 3836 e 3838 e 3840 e 3842 e 3844 e 3846 e 3848 e 3850 e 3852 e 3854 e 3856 e 3858 e 3860 e 3862 e 3864 e 3866 e 3868 e 3870 e 3872 e 3874 e 3876 e 3878 e 3880 e 3882 e 3884 e 3886 e 3888 e 3890 e 3892 e 3894 e 3896 e 3898 e 3900 e 3902 e 3904 e 3906 e 3908 e 3910 e 3912 e 3914 e 3916 e 3918 e 3920 e 3922 e 3924 e 3926 e 3928 e 3930 e 3932 e 3934 e 3936 e 3938 e 3940 e 3942 e 3944 e 3946 e 3948 e 3950 e 3952 e